

蟹状星云 和她的明珠

XIEZHUANGXINGYUN
HE TADE MINGZHU

何香涛◎ 著



湖南科学技术出版社

蟹状星云 和她的明珠

XIEZHUANGXINGYUN
HE TADE MINGZHU

何香涛◎著

湖南科学技术出版社
Hunan Science & Technology Press

蟹状星云和她的明珠

著 者：何香涛

责任编辑：吴 炜

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系：本社直销科 0731 - 4375808

印 刷：长沙化勘印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：长沙市青园路 4 号

邮 编：410004

出版日期：2005 年 5 月第 1 版第 1 次

开 本：710mm×960mm 1/16

印 张：11.25

字 数：175000

书 号：ISBN 7 - 5357 - 4242 - 4/N · 127

定 价：38.00 元

(版权所有 · 翻印必究)

蟹状星云是近代天文学中最引人注目的天体之一。当你翻开一本普通天文书时，经常会在你眼前展现出一张美丽的蟹状星云照片。

蟹状星云是宇宙中最强大的射电源之一，它本身又具有复杂的物理结构，尤其是在其中发现了一颗明珠——脉冲星之后，天文学家们对她更是刮目相待。有关蟹状星云的研究论文数以百计，研究范围几乎涉及近代天体物理学的所有领域。天文学在科学研究中往往具有先导性和启发性的作用，人们经常把天体比作特殊的“物理实验室”，借助它研究一些地面上难以模拟的现象，而蟹状星云正是这些“物理实验室”中内容最丰富的一个。

蟹状星云是 1054 年一次超新星爆发之后形成的。这次超新星爆发在我国历史上有着详细记载，对研究天体的演化过程具有重要意义。国际上，对中国古代天文学的这一卓越成就给予了高度的评价，相形之下，国内关于蟹状星云的介绍还显得非常不够。

本书的一些内容，作者于 1981 年出版过蟹状星云一书。时间一晃，20 多年过去了。20 年的时间非常短暂，但这 20 年，在近代天文学史上却是辉煌的一瞬。天文学观测从地面走进了空间。使用的波段不再局限于光学和射电，而是扩展到红外波段、X 射线波段和 γ 射线波段，真正实现了全波段的天文学。天文学家们用的光学望远镜的口径由长期以来的最大 5 米，一下子跨越到 10 米，单天线射电望远镜的口径也超过了百米。更重要的不仅仅是口径的增大，而是望远镜采集数据的方式和能力也发生了革命性的变化，天文学家不必再躲进暗室冲洗那成千上万的照相底片，取而代之的是高量子效率的 CCD 成像技术。加上大型计算机的配合，20 年的天文观测资料，已超过以前天文学家们的全部工作总和。

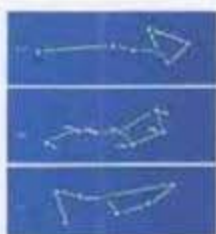
在这飞跃发展的 20 年中，有一点不变的，就是蟹状星云本身的光彩。不仅不变，而且更夺目。最令人鼓舞的消息，是本书的主要描述对象——脉冲星的研究又一次获得了诺贝尔奖。一种星体的研究能够两次获得诺贝尔奖，大概是绝无仅有的。所有这些进步，促使作者感到此书必须重写。

在本书的写作过程中，许多同志提供了热情的帮助，特别是南京紫金山天

文台的王德昌同志热情地提供了许多他自己对“天关客星”研究的第一手材料；北京天文台的李竞同志、李启斌同志和卞毓麟同志，北京师范大学历史系的唐赞功同志，也都给予了许多热情帮助；首都师范大学地理系马星恒同志对原稿提出过许多中肯的意见；北京大学天文系吴鑫基教授提供了他撰写的关于脉冲星的系列文章；中科院自然科学史所的陈久金研究员提供了他尚未发表的有关中国古代星座的故事；研究生李丹丹下载了最新的天文图片，帮助整理文稿，在此一并致谢。

在市书的写作过程中，正值非典肆虐，北京尤为严重。所有的出差和会议都暂停，一时间上班的人也少了，不少人心情恐惧。不过对于写书来说，却是大好时机，可以天天埋头桌案，使市书提早完成。

作者长期从事天文教学和研究工作，在科普方面也有积极性，撰写过一些科普著作，对蟹状星云情有独钟。希望祖先的余光能够激励出更多的天文爱好者，尤其是青少年一代，若能从市书中受益，从此热爱天文，将是作者最大的欣慰。



前言

1 在天上找到了一只“螃蟹” 1

我们的主人公在哪 1

科学家的诚实 3

赋予美名 5

两类截然不同的星云 8

2 天蟹还会动呢 12

玻璃图书馆 12

亲自动手测一测 14

追根求源 17

一点小小的“麻烦” 19

3 好大的一只螃蟹 20

“1054”——中国人的骄傲 20

恒星的距离 21

多普勒效应 25

天蟹离我们有多远 28

好大的一只螃蟹 31

4 来自天蟹的信息 33

天体能告诉我们什么 33

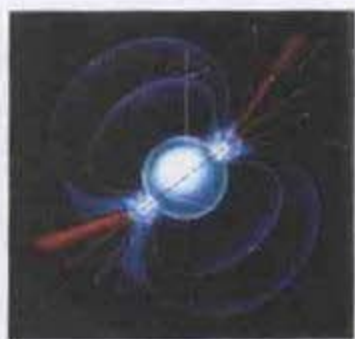
拍一张光谱 35

天文学家的“法宝” 36

这里为“禁区”开了绿灯 40

解剖开来 43

居然还有螃蟹腿 46



5 强大的电波发射台 49

射电天文的崛起 49

金牛座 A 53

金牛座 X-1 57

γ 射线和红外线 60

不寻常的辐射 61

6 天蟹中发现一颗明珠 66

第一个诺贝尔奖 66

脉冲星的 ABC 72

天蟹中的明珠 75

联想到程茂兰先生 79

天蟹也有心脏 83

明珠离我们有多远 84

屈指可数的明珠 86

7 明珠里的奇异世界 92

理论家的预言 92

夜空中的灯塔 94

多么准的钟也有误差 98

脉冲星的寿命 101

明珠里的奇异世界 103

“第五态” 108

8 天蟹是怎样诞生的 110

星星大爆炸 110

一张意义重要的图 116



从一团混沌开始 119
主星序上长期安家 124
走上了坎坷的道路 127
观测事实作证 130
在灾难中诞生了天蟹 136
最终的归宿 139

9 蟹状星云与天关客星 144

古人观星 144
史书上的丰富记载 149
一场论战 152
日本记载的日期出了错误 154
印第安人的两幅古画 154
硬要往自己脸上贴金 155
如果这是真的…… 157

10 再获一次诺贝尔奖 158

爱因斯坦也离不开天文 158
什么是引力辐射 160
脉冲双星——又一次诺贝尔奖
163
毫秒脉冲星——还有诺贝尔奖
的希望 166

蟹状星云简史 172

1 在天上找到了一只“螃蟹”

世世代代，美丽的星空总是那样引人入胜。不论是谁，在仰望满天繁星的时候，都会情不自禁地联想翩翩。一颗颗高挂在天空中的明星，是那样悠然自得地在那里一闪一闪，好像是在向人间亲切地招手，又像是在嬉笑人类知识的短浅。

面对着神秘的宇宙，多少人为之付出了毕生的精力。“毕生”有时还显得太短，最好是几生几世。这里，作者给大家介绍的就是一个漫长的天文故事。故事主人公经历了将近 1 千年的历史，在这漫长的岁月里，几十代天文学家都为之付出了心血。可是直到今天，天文学家们还不敢说他们对主人公的本质已经彻底了解。现在让我们按故事发生的顺序慢慢地讲下去。

我们的主人公在哪

夏夜的星空是美丽的，一条银色的白带横贯长空，自北而南，白茫茫地连成一片，西方人把它叫做“牛奶之路”，我国自古称之为“银河”。围绕着银河，人们编出了许多动人的故事，其中，最著名的要数牛郎和织女了。牛郎星和织女星，一个在银河的东边，一个在银河的西边，每年农历七月初七要相逢一次。实际上，这是不可能的。因为牛郎星和织女星相距 16 光年，也就是说光线从牛郎星到织女星需要 16 年。要知道，光的传播速度是每秒 30 万千米。因此，牛郎要和织女会一次面，即使乘坐最理想化的光子火箭，也要费时 16 年。如果坐飞机，就需要花上 1600 万年！

这类神话故事有许多许多，中国有，外国也有。后来，天文学家们把这些故事保留下来，用来命名星座。为了研究上的方便，天文学家把天空划分成一块一块的小区域，每一小块区域叫做一个星座。按照现在国际上的统一规定，总共把天空划分成 88 块区域，命名了 88 个星座。每个星座的名字都可以讲出一番动人的故事来，什么仙女座、仙王座、仙后座、天龙座……其中，有一个星座叫做金牛座，如果勾画出这只牛的形象来，样子相当雄伟。这只牛是不是当年牛郎所放牧的那只牛，暂且不去管它，我们感兴趣的本书故事的主人公——蟹状星云就住在这里。

欣赏金牛座最好要等到冬天。冬天傍晚，银河虽然退去，但星空依然壮观，因为天空中几颗最明亮的星星都出来和大家见面了。其中，最引人瞩目的要算参（读 shēn）星了。参星属于猎户座，据说是猎人腰带上的三颗宝石。唐朝大诗人杜甫有一句名诗：“人生不相见，动如参与商。”诗中的参就是指猎户座里的这几颗星，古时称为参宿。我们的主人公刚好住在它的北方，不过，这里不属于猎户座，而是金牛座的地盘了。金牛座中最亮的星是金牛座 α ，中文名叫毕宿五。每个星座里，根据星的明亮程度，依次用希腊字母 α 、 β 、 γ 、 δ ……

图 1.1 蟹状星云在天空中的位置



来命名。在 α 星附近有几颗密集的星，这是一个星团，叫做毕星团。我们从这里出发，连一个叉子形，上方连到御夫座里次亮的星 β ，下方连到金牛座里的一颗星 ζ （读 zeta），这颗星中文名叫天关星。蟹状星云位于这两个叉尖连线的方向上，非常靠近天关星。

天上每颗星的位置都用坐标来表示。天文上使用的坐标系有好几种，每一种坐标系都是用两个坐标量表示星体在天空中的位置，赤经和赤纬表示赤道坐标系，它相当于把地球上的经度和纬度投影在天上。赤经用时间来度量，从 0~24 小时；赤纬是从天赤道量起，南北各 90 度，向北为正，向南为负。

蟹状星云的天文坐标是：赤经 5 时 31.5 分，赤纬 21 度 59 分。

科学家的诚实

当我们知道了蟹状星云的位置以后，最好能亲自在天空中寻找一番，那将是颇为有趣的。不过，当你真的找到了主人公在天空中的位置以后，又会感到失望，因为用肉眼看不到它。肉眼所能看到的天体非常有限，都是离我们比较近的。如果你有机会参观天文台，欣赏一下望远镜里的星空，情况就大不一样。除了像恒星那样一个个的亮点以外，还有一些像云雾斑点的天体，这类天体被称之为星云。天文学家们发现星云以后非常兴奋，因为它们形状万千、绚丽多彩，且不要说它们的重要研究价值，只要看一看它们的照片就觉得非常令人可爱了。

到了 1764 年，法国天文学家梅西叶把当时已经发现的星云搜集在一起，编制了世界上第一个关于星云和星团的星表，后来被称作梅西叶星表。梅西叶在 1758 年就已经发现金牛座里的这个星云，他对这个星云很感兴趣，把它排在他的星云表的第一位，上面清楚地注明，发现它的日期是 1758 年 12 月 12 日。后来，凡属梅西叶星表里的天体都加上一个代表梅西叶的字母“M”进行编号，因此，蟹状星云就被取名作 M1。

梅西叶发现蟹状星云颇费了一番周折：这位勤勤恳恳的天文学家尤其对彗星观测感兴趣，一生中发现过 21 颗彗星，法国国王路易十四称他是“彗星的侦探”。18 世纪曾经出现观测彗星的热潮，这是由于人们对彗星的本质不了解，每当彗星出现时都要大惊小怪，甚至担心会把地球撞坏。另外，当时对彗星正巧有一个轰动世界的理论预言，此前的上一个世纪，牛顿的朋友哈雷根据牛顿

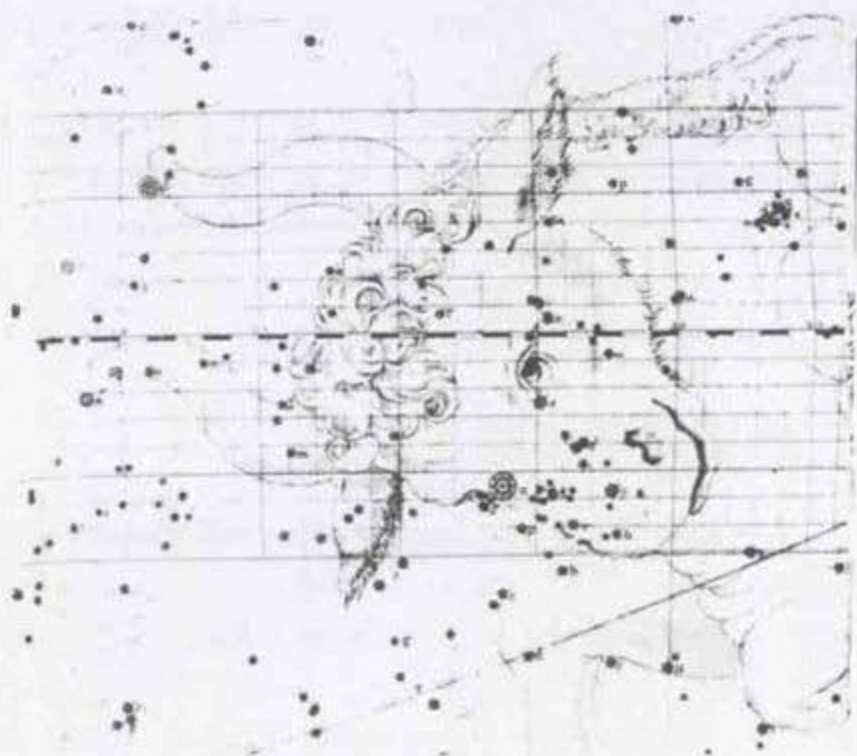


图 1.2 第一个发现蟹状星云的拜维索所绘制的星图。蟹状星云刚好住在下面一只牛角尖的旁边

万有引力定律提出一项大胆的预言，认为 1682 年出现的一颗彗星是周期性的彗星，应该在 1758 年重新出现。到了这一年，梅西叶根据理论预报的位置进行细心的探寻观测。经过几个月的努力，果然发现一颗“彗星”，兴奋之下很快发表他的观测报告：“我发现了 1758 年彗星，8 月 28 日晚，它位于金牛座的牛抵角之间，离开 ζ 星只有一小点距离……”可惜，梅西叶发现的这颗“彗星”并不是哈雷预言的彗星。哈雷预言的真正彗星反倒被一位农夫用肉眼首先看到了。埋头工作的梅西叶事先没有听到这个消息，因而他的观测报告公布以后引起了人们的嘲笑。

梅西叶虽然没有及时发现哈雷所预言回归的彗星（后来取名为哈雷彗星），却发现了一个重要的新天体。也许是由于经过了这一番周折，梅西叶才把这个星云排在他编制的星云表的第一号。

科学家往往是最诚实的。几年以后，梅西叶了解到，他最欣赏的这个星云原来是一位英国医生于 1731 年最早发现的，这位医生名叫拜维索。

拜维斯从小酷爱天文，他不仅勤奋观测，还自己筹款出版星图。1750年拜维斯绘制了一套美丽的星图，每张星图上都绘有各种神话故事，其中包括梅西叶取名为M1的这个星云（图1.2）。就在这时，负责该星图出版的商人破产了，拜维斯虽然拿到了样稿，但是已经无力发表。到1786年，拜维斯的星图才出版问世，这时他本人早已故去。梅西叶的一位朋友于1763年到英国访问，拜会过这位天文爱好者，回国后把拜维斯的发现告诉了梅西叶。后来，拜维斯本人也给梅西叶写过信。当梅西叶知道这些情况后，在他后来发表文章时公开声明了这一点。要不是靠这位科学家的诚实，人们也许埋没了出色的天文爱好者——蟹状星云的真正发现人拜维斯。

赋予美名

梅西叶星表的发表激发了天文学家们研究星云的兴趣，自然M1是最引人注目的。当时，有一位著名的观测大师——生于德国的威廉·赫歇尔，他也是一位天文爱好者，幼年家境贫困，后来迁居英国，当了一名普通的音乐师。由于喜爱天文，他自己动手制造望远镜，由他妹妹做助手，先后磨出好几架在当时是最高水平的望远镜。1781年赫歇尔发现了天王星，从此声名大振，被称为“天文爱好者的王子”。赫歇尔对行星、恒星和银河系做了大量开创性的观测工作。在梅西叶刊布星云表的基础上，赫歇尔也做了大量的星云观测工作。梅西叶星表里的星云数目只有103个，经赫歇尔亲自观测，把星云数目增加到2500个。

赫歇尔惊奇地发现，梅西叶星表里被认为是“无星的星云”，在他的大望远镜里居然分解成恒星。他断言，所有的星云都应该分解成恒星，有些星云之所以没有分开，是由于望远镜口径太小。赫歇尔的这种看法是不正确的，他本人后来也意识到有些星云，包括蟹状星云在内是无论如何也分解不开的。于是他想到，这些星云大概是由弥漫物质组成，他把它们都叫做弥漫星云。赫歇尔虽然对星云做了大量观测工作，但始终未能探明星云的本质。赫歇尔死后，他的儿子约翰·赫歇尔继承父亲的工作。小赫歇尔后来也成为一位著名的天文学家。由于赫歇尔在天文上的卓越贡献，当时的英国国王曾赏赐他年俸，并且破格对这位贫寒出身的天文学家授予“伯爵”头衔。

在赫歇尔之后将近一百年，又涌现出一位杰出的天文爱好者罗斯。罗斯为了从事星云的研究，花了10年的劳动，终于建造成一架1.8米的大型望远镜。

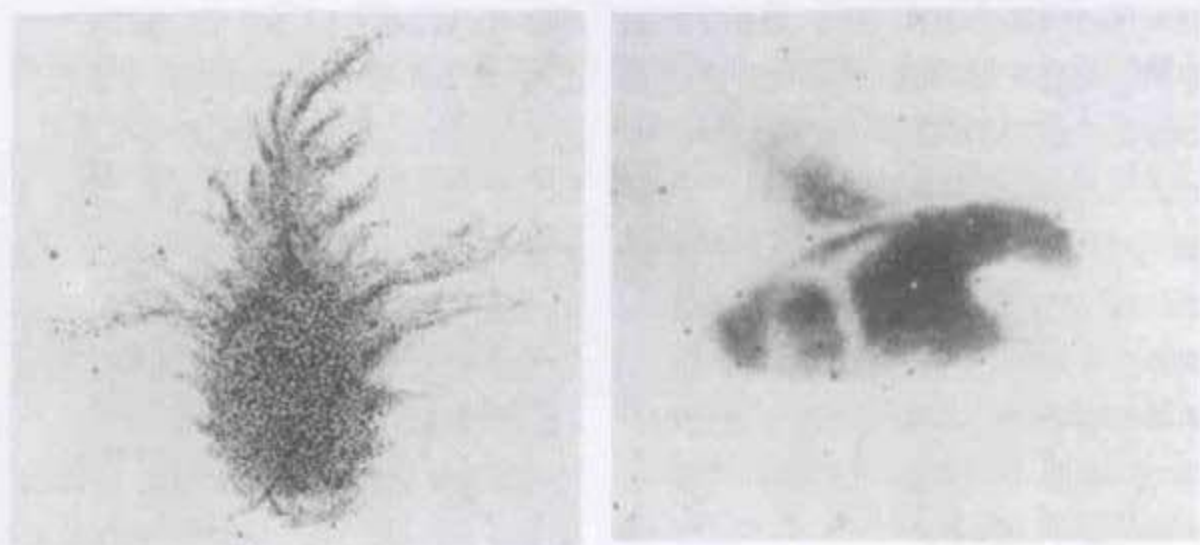


图 1.3 英国天文学家罗斯当年画的蟹状星云的两幅素描

罗斯的望远镜镜面是用铜制造的，要磨制这样一个庞大的镜面，需要花费怎样的努力啊！罗斯花了几十年的时间对 M1 进行了仔细观测，由于他的观测成果，使本书的主人公获得了一个动人的名字——蟹状星云。

1844 年，罗斯发表他对 M1 的最初观测印象：“我们看到了许多可以分开来的纤维状结构，从南边向四周延伸，像个菠萝。”此后，他继续进行观测研究，并绘制了这个星云的两幅素描图（图 1.3）。现在看来，这两幅图的样子似乎并不理想，但要知道，当时还没有照相术，能够绘成这个样子已经很不容易了。如果仔细分析，会发现罗斯图上的许多细节和现代照片上的结构相当一致。1850 年，罗斯对以前的观测进行了总结，罗斯认为这个星云更像一只螃蟹，给它取名“蟹状星云”。这个美名很快就被人们传颂开，而且愈叫愈响，从此以后就连经典的名称 M1 也不大有人再提及了。

今天的蟹状星云是一幅什么样的图景呢？1979 年，加拿大、法国、美国合作，在夏威夷海拔 4200 米的玛纳基亚山上安装了世界上解像力最好的 3.6 米天文望远镜（Canada-France-Hawaii Telescope，简称 CFHT）。图 1.4 是 CFHT 于 21 世纪初拍摄的蟹状星云的最新照片。由于蟹状星云还在不断地变化，这幅照片代表了她的最新面貌。由于罗斯是手绘的素描图，我们不敢断言，当时的图像真会和现在的有那么大的差别。不过，从今以后，我们就会拍摄下蟹状星云的每一个细节的变化。根据目前的研究，这只螃蟹会天天长大，一直到慢慢消

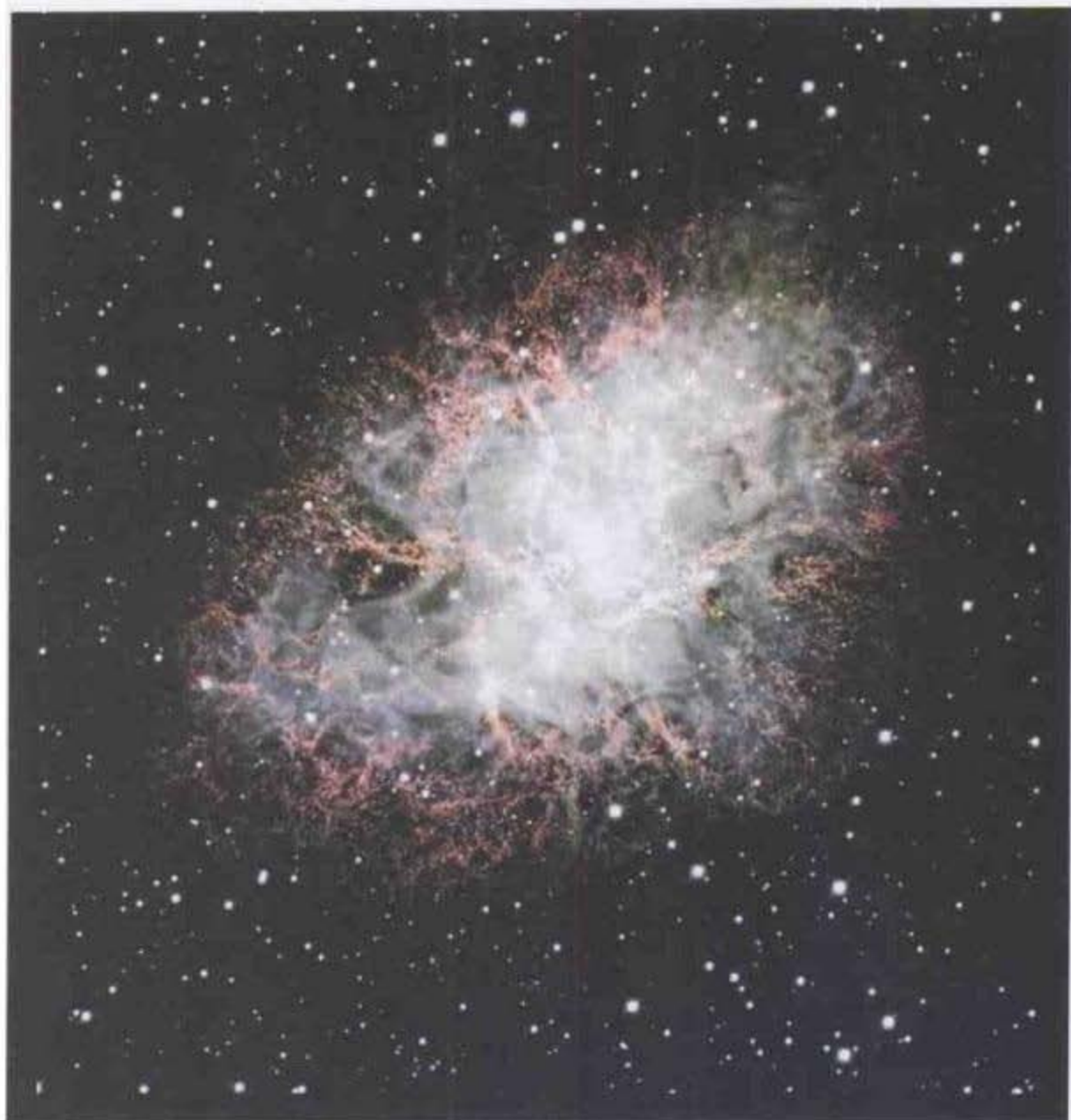


图 1.4 CFHT 望远镜拍下的最新的蟹状星云

失。本书就是告诉大家这只螃蟹的全部历史。我们能够目睹的虽然只有一瞬间，但是我们能够知道的却是她的整个来龙去脉。

两类截然不同的星云

科学研究是允许犯错误的，星云的概念在很长时间内就被天文学家们搞错了。在梅西叶编制第一个星云表时，把天空中所有云雾状斑点都叫做星云，并给它们统一地编了号。其实，梅西叶的星云表把几类截然不同的天体都混在一起了。赫歇尔已经注意到这一点，并试图对星云进行新的分类，但由于受当时仪器条件的限制，他建立的许多概念也不正确。

19 世纪末，大口径望远镜相继问世，星云的一些本质问题才得以澄清。天文学家发现梅西叶星表中的一部分属于星团，而星团是由成百、成千、甚至成



图 1.5 仙女座大星云 (M31)，这是离银河系最近的河外星系之一。可以看出，它是由许多恒星组成的

万的星组成的集团，这类天体根本不属于星云的范畴。就星云来说，也应该分为本质上完全不同的两类。

用大望远镜观测，发现有的星云的确是由一颗颗的恒星组成。这类星云原来不属于银河系，它们离银河系非常遥远，而且大小也和银河系相差不多。实际上，这都是一些同银河系并驾齐驱的巨大星系，正确的名称应该称为“河外星系”，或者“河外星云”。例如，离我们很近的一个著名河外星系，名叫仙女



图 1.6 美丽的猎户座大星云

座大星云，在梅西叶的星云表上编号是 M31（图 1.5）。仙女座大星云位于仙女座的方向上，虽然距离我们有 220 万光年，但用肉眼还可隐隐约约地看到。

由于我们处在银河系中，反而难以了解自己星系的“真面目”。幸好，有一些河外星云在结构上和银河系很相似，仙女座大星云就是其中的一个。长期以来，仙女座大星云成了天文学家们研究银河系的一面“镜子”。如果仔细看仙女座大星云的照片，会发现它是由许许多多的恒星组成的。研究表明，仙女座大星云是在那里旋转着，它的整个形状好像一个运动员抛向空中的一只“铁饼”。假如我们站在仙女座大星云上给银河系拍一张照片，其形状大体上也是这个样子。

还有一些星云，无论用多大的望远镜观测，也无法把它们分解成恒星。原来这类星云根本不是由恒星组成，它们的成分主要是气体和尘埃。这些星云都处在银河系之内，和河外星云有本质的不同。银河系内除了大量恒星之外，还存在着许多气体和尘埃。这些物质散布在恒星之间的广大区域里，通常被叫做“星际介质”。我们看到的银河白带，正好是银河系中心平面所在的地方，由于这里的恒星和星际介质都很密集，肉眼区分不开，才把它们看成白茫茫的一片。当星际介质成团地密集在一起时，便形成银河系内的星云，又叫“河内星云”。如果星云的附近有明亮的恒星或温度很高的恒星，星云便反射星光或者受高温恒星的紫外辐射激发而发光，称为“亮星云”。图 1.6 是一个著名的亮星云，叫猎户座大星云。当我们用肉眼看猎户座的“三星”时，会发现中间一颗星比较模糊，原来这不单单是一颗星，周围还有一个明亮的星云，这就是猎户座大星云。照亮这个星云的星不只是这一颗，在星云里还有许多亮星，因此，猎户座大星云显得格外明亮。也有一些星云，虽然附近也有亮星，但它既不反射亮星的光，自身也不发光，而是被亮星的背景衬托在那里，称为“暗星云”。图 1.7 便是一个暗星云，看上去它多像一匹矫健的骏马昂首嘶风，因此取名为“马头”星云。

我们的蟹状星云属于银河系里的亮星云。不过，这个亮星云有些与众不同，你会慢慢清楚，它既不是由普通的星际介质组成，也不是被普通的亮星照亮的，而是别有一番极不寻常的“来历”。



图1.7 壮观的“马头”星云



2 天蟹还会动呢

蟹状星云没有辜负天文学家赋予它的美名，秀丽的外观在星云中可算得上出类拔萃，细心端详，真好像一只大螃蟹团伏在那里。更有意思的是，这只螃蟹居然还真的会动，不仅会动，而且在一天天长大起来。

玻璃图书馆

自从照相技术应用到天文观测中，天文学家如获至宝，一张小小的玻璃片就可以把一大片天区清楚地拍摄下来，再不用天文学家用手一点一点地描记了。你可能会想，给每颗恒星拍一张照片就够了，反正它们高挂在天空，又不会动。可是，情况刚好相反，人们所认为不动的“恒”星，实际上都在不停地运动。天文学家虽然早就发现恒星是运动的，但是准确量出恒星的运动却是在有了照相术之后。

测量恒星运动的原理其实并不复杂，只要把同一个天区相隔时间很长的两张照片重叠在一起，哪一颗星的位置发生了变化，哪一颗星就是有运动。这样量出的恒星在天空中位置上的移动叫做“自行”。尽管恒星本身的运动速度可能很大，但是由于恒星离我们太远了，显示出来的自行量还是非常微小。人们一般用来测量自行的单位是“角秒/年”，也就是每一年恒星在天空中移动了若干角秒。

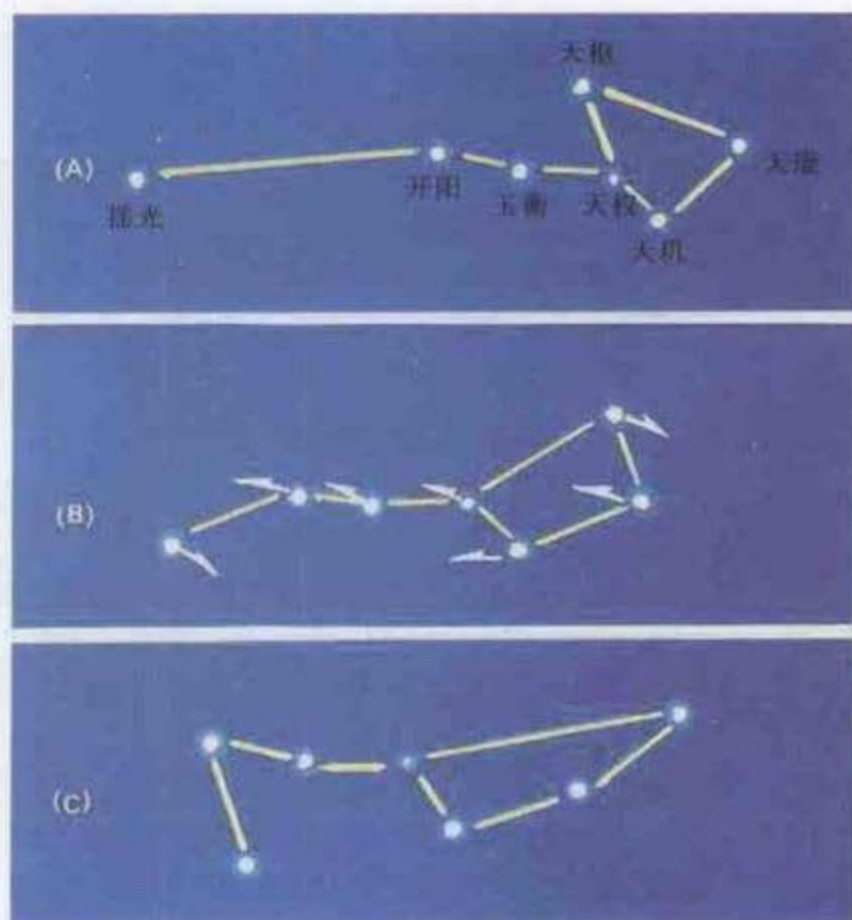
要想把恒星的自行测准，关键是要有相隔时间很长的照片，最好能相隔几十年，这样，恒星移动的距离才能显示出来。为此，世界上大型的天文台都建

立了底片库，采用各种办法把早年的底片完好地保存下来。由于这些底片都是一块块的玻璃，人们常把这种底片库称之为“玻璃图书馆”。玻璃图书馆不仅用来测量恒星的自行，还是天文学家的“档案”库。一旦某个天体出现异常现象，我们就可以到“档案”库里去查一查它的“历史材料”。世界上最大的“玻璃图书馆”在美国的哈佛大学。在我国，上海天文台的佘山观测站也储存着许多几十年前的珍贵底片。

尽管恒星的自行很小，但是，目前已经测量出 20 多万颗恒星的自行值。拿我们最熟悉的北斗七星来说吧，每颗星都以不同的方向自行，再过 10 万年，它们的样子就会和现在有很大的不同图 2.1 标出了北斗七星的中文名称和它们各自的运动。

聪明的天文学家立刻想到，能不能把测量恒星运动的方法用来测试蟹状星云呢？第一个进行这种尝试的是美国天文学家邓肯，他把相隔 12 年的两张蟹

图 2.1 北斗七星由于自行而引起的位置变化。十万年前形状 (A)，现在的形状和各成员星的自行方向 (B)，十万年后形状 (C)



状星云的照片放在一起，令人吃惊地发现该星云居然向外膨胀了。邓肯的工作立刻引起天文学家们的兴趣。但是，究竟膨胀速度有多大，一时还不能准确地测定下来。由于当时（1921年）天文学家手里最多只有12年前的照片，要想做更准确的测量，只有耐心地等待着时间的流逝。

前人栽树后人乘凉，天文学家尤其感受到“档案”资料的重要性。今天，世界上愈来愈多的天文台，包括我国的天文台在内，都在有计划地为后人储存资料，把“玻璃图书馆”建设得更加详尽、充实和完备。

随着技术的进步，人们开始把玻璃图书馆数字化，这就是把每一张玻璃底片都扫描在一张张的CD光盘上。这样一来，既便于长时间保存，又便于查找。今天，当你走进天文台时，只要在计算机上翻动光盘，便可以把需要的星找出来。

亲自动手测一测

图2.2展现在你面前的是相隔34年的两张照片。左面一张照片是1942年1月19日拍摄的，右面一张照片是1976年2月27日拍摄的。照片中蟹状星云

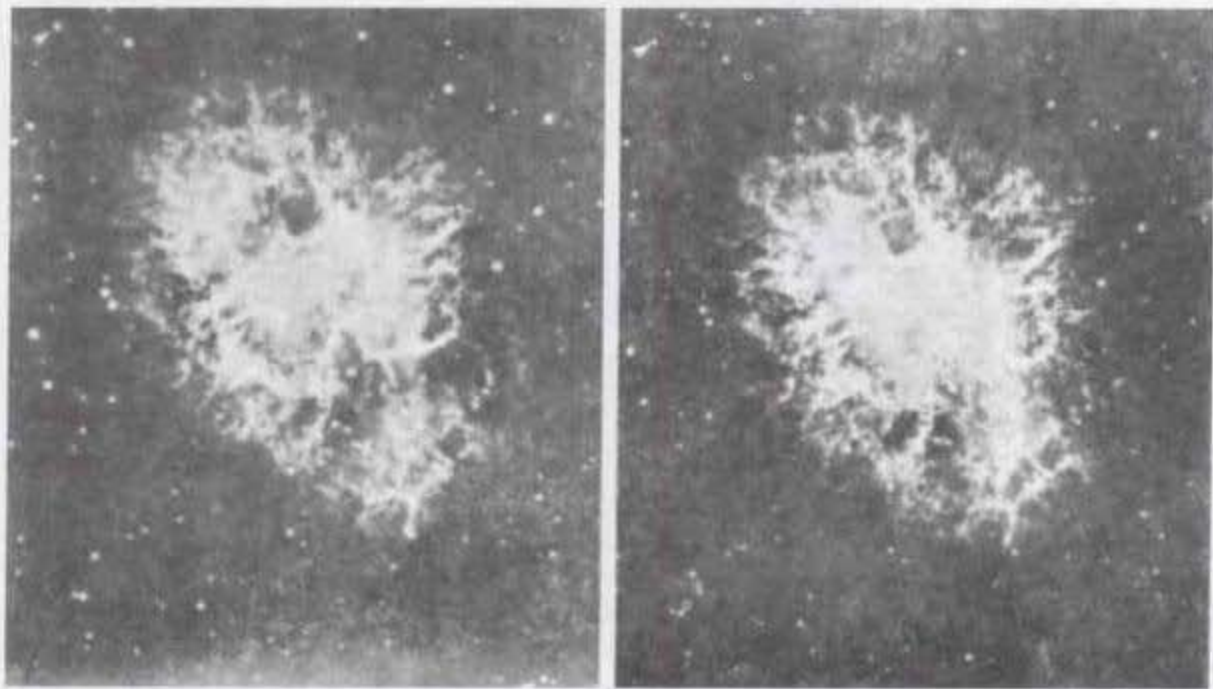


图2.2 相隔34年的两幅照片。左：100寸（1寸=2.54厘米）望远镜拍照，加红色滤光片，曝光2个半小时；右：158寸望远镜拍照，曝光20分钟

四周的亮点都是一些恒星。只要留心观察蟹状星云里一些有特征的点，找出它们相对于恒星的位置，然后将两张照片加以对比，就不难发现该星云的确是在膨胀了。但是，要想准确地量出星云的膨胀速度，就不那么简单了，它涉及天文学里的一个学科分支——照相天体测量学。到目前为止，世界上只有很少的天文学家有幸看到蟹状星云的膨胀现象。因此，作为练习，我们想让读者亲自动手测一测，既可以增加天文知识，又可以破除对天文数字的神秘感。

在测量蟹状星云的膨胀运动时，我们把背景上的遥远恒星看作是静止不动的，并且以这些恒星作为量度的标准参考点。这样做是完全允许的，因为虽然恒星也有运动，但是比起蟹状星云的膨胀来说是微不足道的。

我们就用图 2.2 的两张照片来进行测量，使用的工具也很简单，只要有一把刻度比较准确的毫米尺就够了。首先需要定出照片的比例尺，也就是定出照片上 1 毫米的长度相当于拍照天空中多大的一段距离，这个量在天文上叫做底片比例尺。底片比例尺通常使用的单位是“角秒/毫米”。各个天文台进行观测的望远镜口径不同，拍照下来的底片比例尺也不同。因此，使用不同天文台的照片进行比较，就需要首先定出底片比例尺来。

我们是以恒星为标准来测定底片比例尺的。前面已经提到，恒星在天空中的位置用赤经和赤纬来量度，这就相当于地球上每个城市的位置用经度和纬度来表示一样。天空中每颗亮星的赤经和赤纬都已经准确测出，载在专门的天文历书中。这样，我们可以在照片中选取两颗比较亮的星，根据它们的赤经和赤纬，用三角的方法计算出它们之间的角距离。为了简便起见，把两颗星之间的角距离事先给出来，图 2.3 中标有箭头的两颗星相距是 576 角秒。然后用毫米尺去量一量这两颗星在照片上的距离是多少毫米，用这个距离去除角度，便得到这张照片的底片比例尺。如果用 K 表示底片比例尺，显然，

$$K = \frac{\text{两颗星的角距离}}{\text{两颗星在底片上的线距离}}$$

用同样的方法把两张照片的底片比例尺都计算出来，分别记作 K_1 和 K_2 。

其次，需要知道蟹状星云的中心在哪里。我们选取中间两颗星中靠南边的一颗作为中心（小箭头所示），以后我们会看到，这颗星不仅是蟹状星云的中心，而且还是蟹状星云的“心脏”。进一步在蟹状星云上选取若干个有特征的点，这些点最好选在纤维状结构上，选取的数目愈多愈好。不过，作为练习，不妨选取 10 个。用毫米尺分别测量中心点到所选取的各个点之间的距离，假

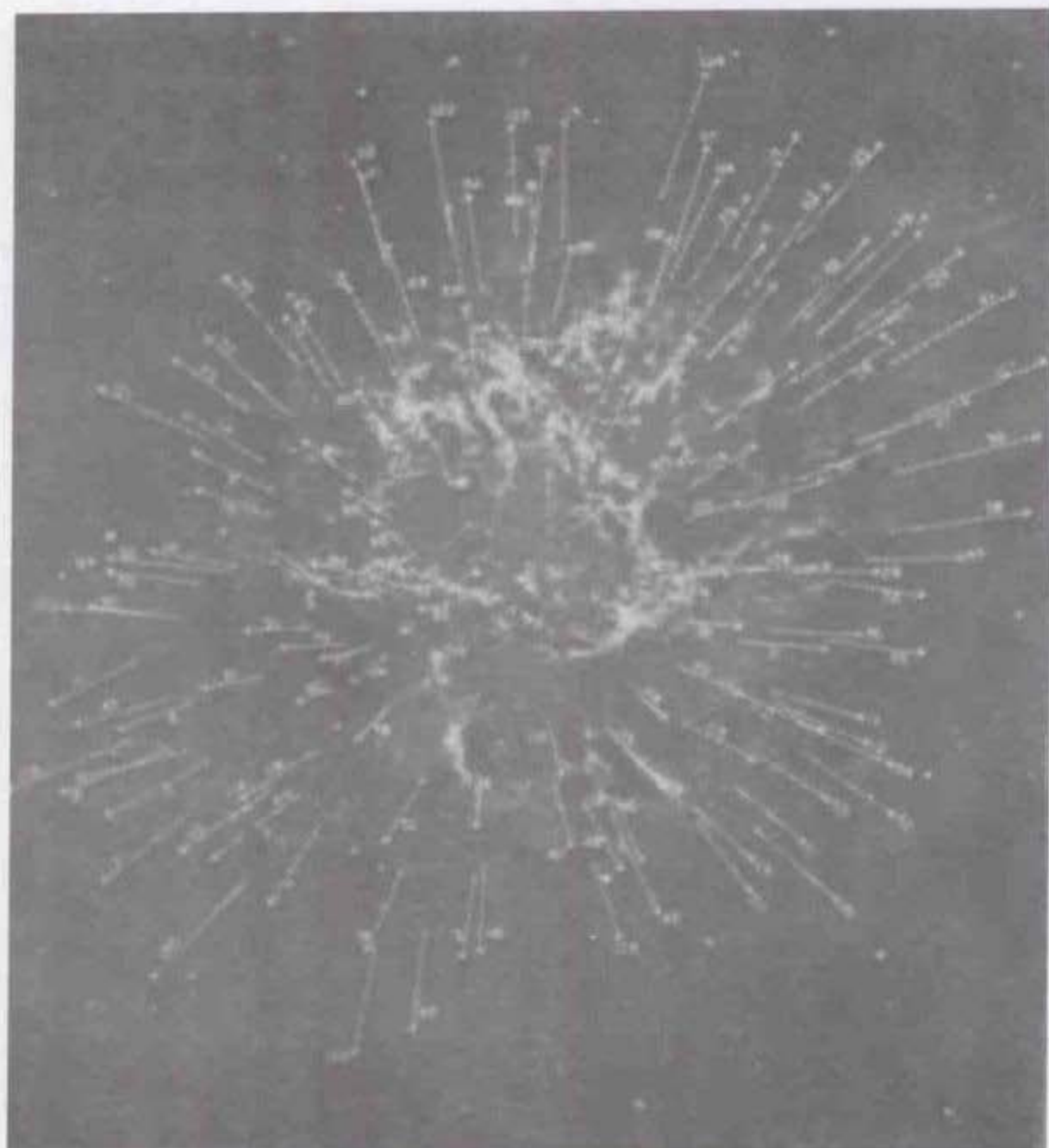


图 2.3 实测出的蟹状星云各点向外的膨胀

定量得的距离是 l_i ，底片比例尺是 K ，则它们之间的角距离 L_i 便等于

$$L_i = Kl_i, i = 1, 2, \dots, n, n \text{ 为选取点的个数}$$

用同样办法对两张照片进行测量，但要注意每张照片要用各自的底片比例尺。现在将两张照片上对应点的角距离相减，便得到该点在这段时间里膨胀的距离。我们把 10 个点的膨胀距离取平均，记作 X ，这样便可以得出星云的膨胀速度 μ 的表达式，即

$$\mu = X/t$$

式中 t 是两张照片相隔的时间（这里取为 34 年），这样得出的速度单位是“角秒/年”， μ 值的答案约为 0.2 角秒/年。图 2.3 给出一位女天文学家特丽布尔实际测量的结果，她一共选取 132 个点，依次排列了编号。箭头表示各点膨胀的方向，箭头的末端是 270 年以后膨胀应该达到的位置。不妨将你测得的结果与这位天文学家的测量作一个对比。

追根求源

从事实观测的天文学家经常给天体进行拍照，自然也就对照相这门艺术不陌生了。为了使人们对蟹状星云的膨胀有一个直观的感觉，天文学家用照相特技得到一张漂亮的照片（图 2.4），它生动地显示出蟹状星云正在向四周漫溢开来。不过，这里没有丝毫作假之处，它只是将两张底片叠印在一起，一张是 1950 年拍摄的正片，一张是 1964 年拍摄的负片。所谓负片，就是我们通常说的照相底板，它的黑白和正片的正好相反，因此，周围的星像看上去都是黑点。

只是欣赏或堆积资料算不了科学，科学需要分析和思索。既然蟹状星云是在向外膨胀，那么它当初应该是怎样的呢？让我们把计算膨胀速度 μ 的公式加以变换，写成

$$T = \frac{L}{\mu}$$

上式中 L 代表蟹状星云边上某一点到蟹状星云中心的距离，这样算出的时间 T 便是蟹状星云从中心一点膨胀到现在所需的全部时间。用不同点算出来的数值会有些不同，取平均值，最后得到的结果大约是 T 等于 900 年。如果你真的动手做了一番测量，不知你得到的结果误差有多大？误差大小倒是次要的，因为

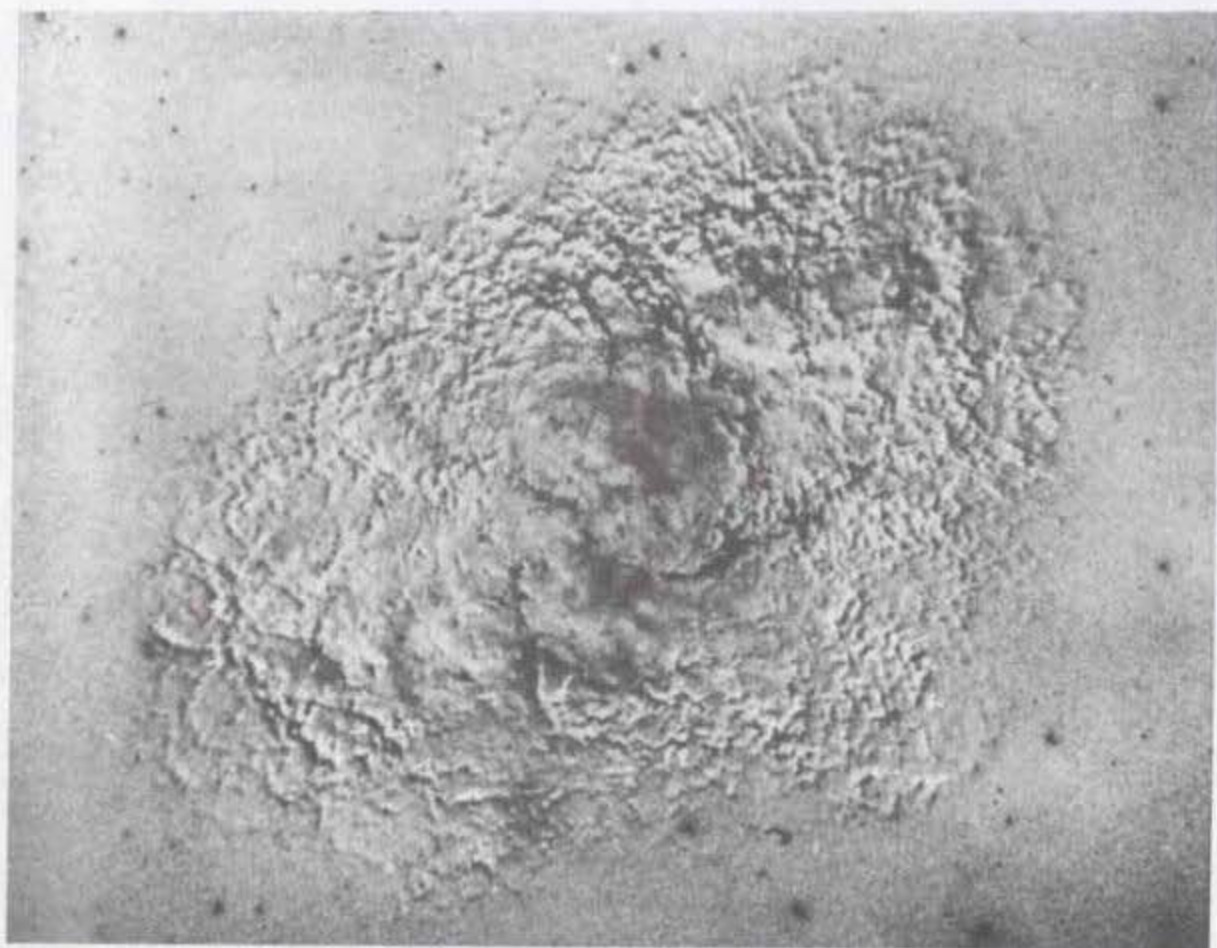


图 2.4 女天文学家特丽布尔设计的具有立体感的蟹状星云

这里忽略了许多因素，仅仅是一种模拟性的练习。问题在于，你能不能从中得到一些启发，进一步思索一下，蟹状星云的“过去”应该是怎样的，换句话说，就是当 $T=0$ 的时候蟹状星云是个什么样子。

1928 年，美国天文学家哈勃首先对这个问题做出了科学的判断，他认为蟹状星云是在一次超新星爆发中产生的。如果这个判断是正确的，那么 900 年前在这个地方应该有过一次星星的爆发。的确，中国人的观测证实了这次超新星爆发，时间是公元 1054 年，现在的蟹状星云就是那次超新星爆发的遗迹。后来，荷兰的著名天文学家奥尔特，专门与一位荷兰的汉学家合作，仔细研究了中国古代有关这颗超新星的记载。他们一致确认，蟹状星云就是 1054 年超新星爆发后产生的。

一点小小的“麻烦”

实际情况要复杂得多。

随着科学技术的发展，测量的精度愈来愈高。20 世纪 70 年代，有人在蟹状星云里选取多达 259 个特征点进行测量，重新计算它的年龄，发现蟹状星云的产生时间应该是 1140 年，比 1054 年推迟了将近 90 年。不过，新的测量结果仍然肯定了，蟹状星云是从一点爆发产生的，虽然现在蟹状星云的样子并不是圆的，那是因为蟹状星云的长轴方向膨胀速度要快一些，短轴方向膨胀速度要慢一些。那么，年代的毛病出在哪里呢？原来，我们在进行计算时，认为蟹状星云现在的膨胀速度和当初的膨胀速度是一样的，也就是说，认为它一直是匀速运动的。实际上，蟹状星云在膨胀过程中速度发生过变化，现在的膨胀速度与过去的平均速度相比是加快了。这就意味着，蟹状星云在过去的膨胀过程中产生过加速度。

实际过程可能是这样的。当超新星刚开始爆发时，巨大的气体云以每秒几千千米的速度向四周喷发出来，它们和周围静止的星际物质发生猛烈的碰撞。碰撞的结果，使气体云的速度迅速减慢下来。同时，在碰撞过程中会产生许多高能粒子，这些高能粒子就是目前地面上观测到的宇宙线的来源之一。减慢下来的气体云把自己巨大的动能转移给周围的星际物质，这好像是个刹车过程，一辆飞奔的汽车遇到铺满厚厚杂草的路面，很快就开不动了。可是到了后来，一方面星云气体变得稀薄，与周围物质的碰撞不那么剧烈了；另一方面，在蟹状星云的内部还有其他的能源提供，星云的膨胀速度又开始加快起来。

这点小小的“麻烦”总算得到了“完满的”解释。不过，认真说来，其中的许多过程还远远没有研究清楚。我们的解释所以能尚称“完满”，还有一条重要的原因，那就是中国古代关于 1054 年超新星爆发的观测资料是过硬的，读完下一节你就体会到，任何一种理论解释都不能违背“1054”。

3 好大的一只“螃蟹”

“1054”——中国人的骄傲

“今人不见古时月，今月曾经照古人”，唐朝大诗人李白在“把酒问月”中的诗句深情而形象地描绘了月球。人类有文字记载的历史不超过 5000 年，在这么短的时间内，任何一个天体都不会有什么变化。将天体的发展变化和人类的历史相比，的确显得太缓慢了，一个星体的年龄，至少在几百万年以上。近代的一些天文学家虽然对天体的演化做了大量的研究工作，取得了不少成绩，但终有“纸上谈兵”之感。因此，当蟹状星云和 1054 年超新星的关系被证实后，天文学家们感到非常兴奋，这是有史以来人类亲眼看到的最珍贵的天体演化过程的实例。这一成就是中国古代天文学家辛勤劳动的成果，它为中华民族的历史增添了光辉。

让我们将历史的时针倒拨到公元 1054 年。

当时是宋仁宗至和元年的五月己丑，即 1054 年 7 月 4 日，大约在寅时左右，天关星刚刚露出东方地平线（天关星的南面就是著名的参星），司天监突然在天关星附近发现了一颗客星！古代将一天分为十二个时辰，寅时相当于早晨 4 点钟左右，当时把天空中突然出现的亮星统称为客星，比喻前来拜访的“客人”。这次的客星很特别，虽然天已经亮了，客星的光芒非但没有减退，反而继续增亮，“芒角四射，犹如太白金星”。宋仁宗是北宋时代，虽然国家经常受到辽金的侵略，但在科学方面仍有很大的进步。在短短的 100 年中，司天监



领导进行过 5 次恒星位置的大规模测量。所谓司天监，即当时的皇家天文学家。与西方同时代的天文科学相比，我们的水平是遥遥领先的。

这个客星真是一个“不速之客”，来了就不走。在 23 天时间里，像太白金星一样亮，白天都可以看到，即所谓“昼见如太白”“凡见二十三日”。客星看不到的日期是 1056 年 4 月 6 日，距离客星出现的日期 1054 年 7 月 4 日已经整整过了 643 天。在这将近两年的时间里，只要能看到客星，司天监的人员总是坚持不懈地进行观测，他们详细地记录了客星的位置、颜色和亮度变化。这些详细的观测资料虽然大部分已经遗失，但仅是这流传下来的简短记载，已经使后人敬佩不已了。

这位“不速之客”原来是一次超新星爆发，等到历史的时针转到 18 世纪时，天文学家们又重新发现了它。不过，这时它已经变成一只美丽的“天蟹”了。

由于这颗客星出现在天关星附近，后人都把它叫做“天关客星”，或者根据年代叫做“1054 超新星”。将天关客星最早介绍到西方去的是一位法国人，清道光 25 年（1846 年），这位法国人把《文献通考》一书中关于各种奇星（包括新星、彗星等）的记载译成法文，天关客星于是逐渐为欧洲人所知晓。随着对蟹状星云的研究不断深入，人们日益珍视中国古代的这次观测成就。今天，世界上只要一提到“1054 超新星”，大家都一致称赞：“这是中国人的骄傲。”

初次吃螃蟹的人，拿到一只硬邦邦的螃蟹往往不知从哪里下手，原因是了解不了它的结构。现在，我们面对的是一只“天蟹”，要想深入了解它的物理性质，也必须由表及里地对它进行一番“剖析”。首先，我们要测一测“天蟹”离我们有多远，量一量“天蟹”有多大，称一称“天蟹”有多重……这些都属于天体的一些基本数据。天文上，测量天体的这些基本数据的方法往往有类似之处，我们不妨从最基本的概念入手，了解一些天体测量的方法。

恒星的距离

天上的星星那么多，一个个都在不停地向我们眨眼，究竟离我们有多远呢？让我们先来测量一个远距离的目标，例如测量大海里的一个灯塔（图 3.1）。在地面上任选两个点， A 和 B ，在 A 点用仪器量出角 A 的大小，在 B 点用仪器量出角 B 的大小，已知角 A 和角 B 就可以算出角 C 的大小了。在大地测量学中，角 C 叫做视差角。然后，量出 AB 的长度，这个长度叫做基线。这

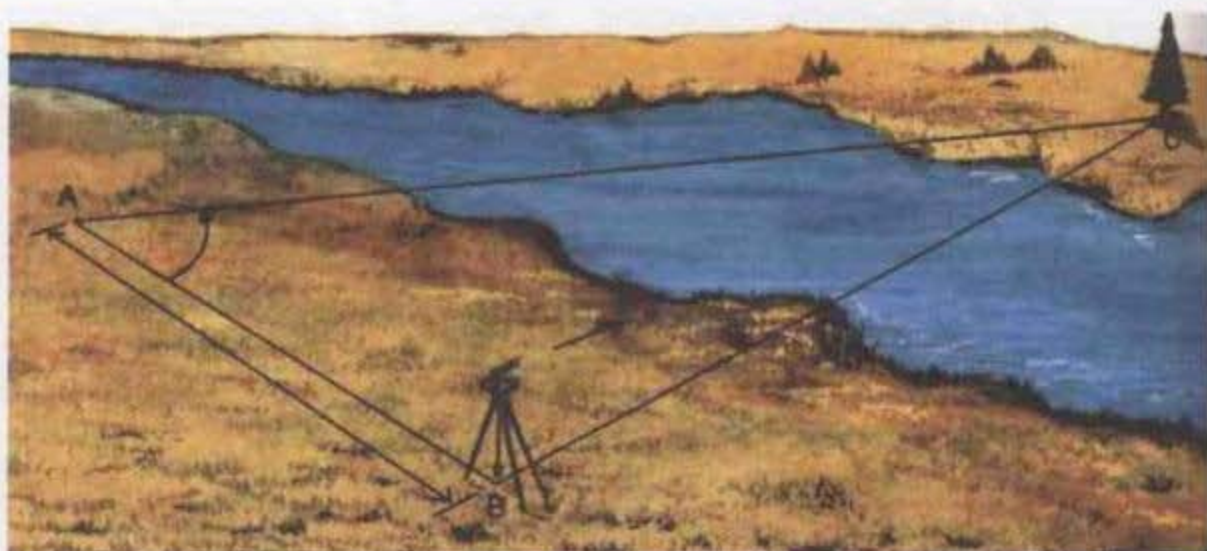


图 3.1 用三角法测量远处灯塔的距离

样，知道了视差角和基线的大小，就可以计算出灯塔到基线的距离。显然，距离的远近取决于视差角的大小和基线的长短。当基线的长度一定时，视差角愈小，距离就愈远。

测量恒星的距离也可以用类似的方法。在天文上，有一条天然的长基线可供利用，这就是地球绕太阳公转的轨道半径。一颗星对这个轨道半径的张角叫做恒星的视差，用 π 来表示（图 3.2）。地球绕太阳运动的平均距离称作一个天文单位，已经准确测出 1 个天文单位等于 1.49×10^8 千米。因此，只要知道了视差角，就可以求出恒星到太阳的距离 r 来。由于知道一个天体的视差就等于知道这个天体的距离，因此，天文学中常常把“视差”和“距离”视为同义词，等同使用。

图 3.2 是一张显示恒星视差的示意图。

远处的背景恒星由于距离遥远，相对位置没有变化，而近距的恒星从 A 和 B 处看会有很大不同。测量恒星与背景恒星角距的变化，便可以求出它的视差角来。

恒星的视差都很小，没有哪一颗恒星的视差大于 1 个角秒。就拿离我们最近的半人马座比邻星来说，它和我们的距离是 4.3 光年，其视差只有 0.76 角秒。天文学中还有一种比光年更大的距离单位，叫做秒差距。秒差距等于视差角的倒数，当视差为 1 角秒时，距离叫做 1 个秒差距，当视差为 1/100 角秒

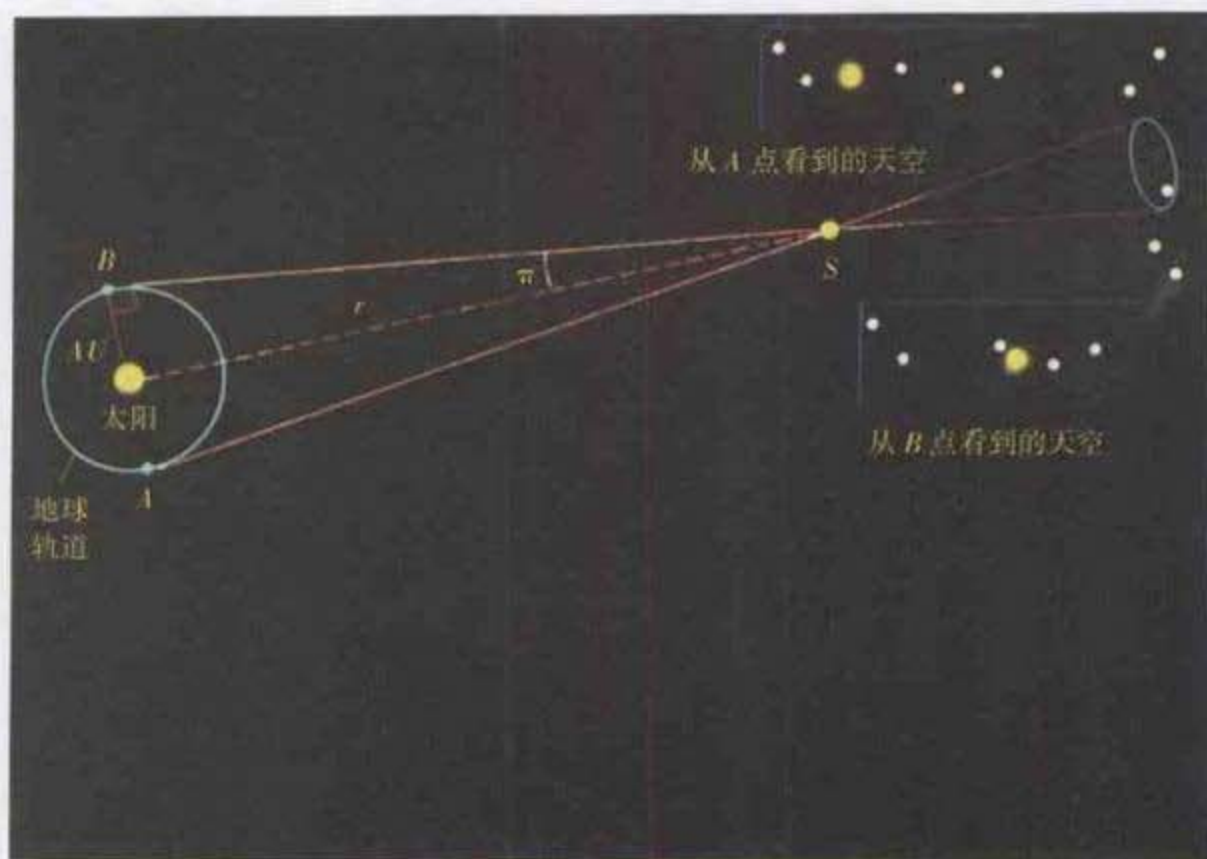


图 3.2 恒星的视差。由于地球绕太阳公转，恒星在天空中会画出一个视差椭圆来

时，距离便是 100 个秒差距。1 个秒差距等于 3.26 光年，或者等于地球轨道半径的 206265 倍。

一个角秒的大小相当于把一个直径为 1 厘米的小球放在 2 千米处所张的角度。不难想象，要测量比这还要小的角度是非常困难的。天文学家们为了测出恒星的视差，花费了几百年的时间。16 世纪，有一位终生致力于辛勤观测的天文学家，叫做第谷·布拉赫。当时哥白尼的日心说正在广泛传播着，第谷经过认真考虑，表示不同意哥白尼的观点。他认为：如果是地球绕太阳旋转，应该观测到恒星的视差效应。如图 3.2 所示，当地球位于位置 A 时，观测者看到恒星在天空中的投影位置在上方，过半年后，地球运行到 B 时，恒星在天空中的投影位置应该在下方。这样，在一年的过程中，从地球上的观测者看来，恒星 S 在天空中应该画出一个视差椭圆来。可是，第谷没有观测到任何一颗恒星有这种视差椭圆效应，因此，他怀疑地球是否在绕太阳旋转。第谷的看法和当时

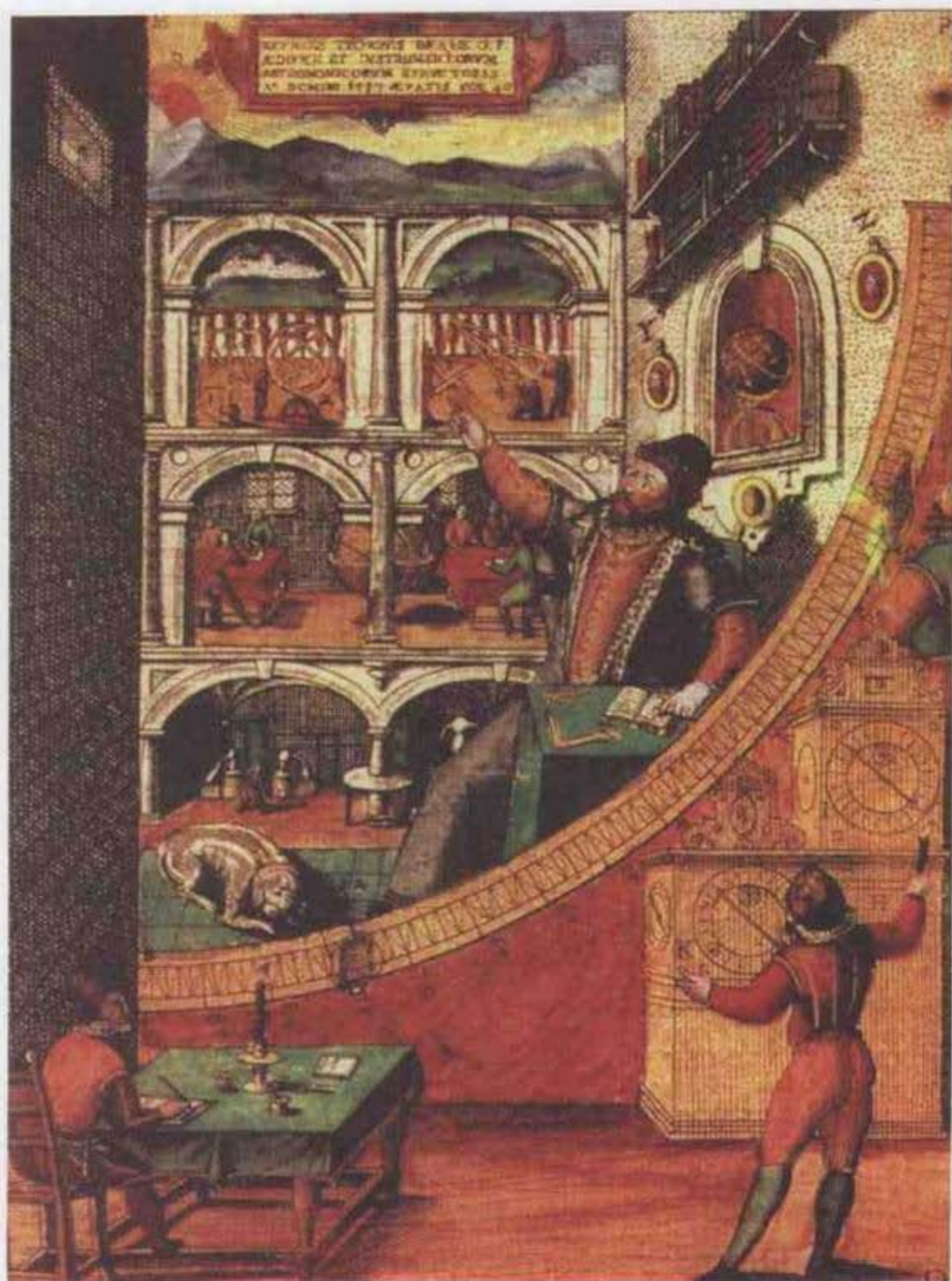


图 3.3 开普勒的老师、丹麦天文学家第谷在进行观测

的黑暗宗教势力反对哥白尼的学说完全是出于不同动机。所以，后人非但没有责备第谷，反而钦佩他的科学家的诚实态度。第谷虽然没能发现恒星的视差，但他却留下了许多宝贵的资料。到了晚年，他将这些资料交给他的学生开普勒。开普勒通过分析这些资料，发现行星绕太阳运动的三条重要定律，这就是著名的开普勒行星运动三定律。正是由于开普勒定律，不仅证实了日心说的正确，而且导致了牛顿万有引力定律的发现。

最早成功地测出恒星视差的有俄国的斯特鲁维和德国的白塞耳。白塞耳是天文学家兼数学家，他于1838年首先测出天鹅座里的61号星的视差，这颗星的确在背景星中显示出视差椭圆效应，它的视差是1/3角秒，相当于距离我们3个秒差距，即10个光年，是离我们最近的恒星之一。

凡属用这种方法直接测得的恒星视差叫做三角视差。后来发现，只有一部分离地球比较近的天体才能用三角视差方法测量距离，对于大多数天体来说，包括蟹状星云，必须另想他法。不过，由于三角视差法测量的精度最高，所有其它测量方法都是以它为基础的。

多普勒效应

为了能够求出蟹状星云的距离来，我们不得不介绍一点物理学方法的知识，这就是奥地利物理学家多普勒于1842年首先发现的多普勒效应。

多普勒效应最初是用来说明声学现象的。我们都有过这样的体验：如果你站在铁路旁边，有一列火车从你身边驶过，当火车接近你时，会觉得火车的声调变高；而当火车远离而去时，又会觉得声调变低。尤其是火车在身边擦过的一刹那，声音会有个突变，音调由高突然变低。产生这个现象的原因是声音的频率发生了变化。任何发声物体，相对于观测者有运动，其频率都会发生变化，这个现象就是多普勒效应。

多普勒效应同样适用于发光物体，如果光源原来发出的光的波长是 λ ，当光源以速度 v 相对于观测者运动时，波长 λ 要改变为 λ' ，改变量的大小取决于速度 v ，它们之间的关系是

$$\lambda' - \lambda = \frac{v}{c} \lambda$$

或者

$$\Delta\lambda = \frac{v}{c}\lambda$$

上式中， c 是光速， $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda$ 代表波长的改变量。如果光源是远离观测者的， v 取正值；如果光源是朝向观测者的， v 取负值。习惯上，把 v 叫做视向速度，表示光源在观测者视线方向上的运动速度。

图 3.4 形象地说明了多普勒效应，上图的两个观测者，一人观测到光波变红，一人观测到光波变蓝，下图则是汽车通过观测者时的声音变化。

每一个天体都可以看作是一个光源，把测量出的天体发出来的光的波长，与实验室里的波长进行比较，从而得到波长的位移量 $\Delta\lambda$ ，把它代入上式便可以求出天体的视向速度 v 来。例如，有一颗恒星，发出的一条光谱线的波长 $\lambda=5000$ 埃^{*}，观测测出谱线的位移量 $\Delta\lambda = -1.5$ 埃，则根据上式可以算出

$$\begin{aligned} v &= c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \\ &= 3.0 \times 10^5 \text{ 千米/秒} \frac{-1.5 \text{ 埃}}{5000 \text{ 埃}} \\ &= -90 \text{ 千米/秒} \end{aligned}$$

即，这颗恒星以每秒 90 千米的速度朝向观测者运动。

多普勒效应应用到天文上以后，立即显示出它具有十分重要的意义。进入 20 世纪以后，天文学家们不仅用这一强有力的手段测量出大量天体的视向速度，还用它来观测河外星系。结果发现，河外星系发出的光谱线都向红的方向位移，也就是波长变长了。根据上面的讨论，河外星系应该远离观测者运动。令人奇怪的是，不仅所有的河外星系的谱线都呈现红移，而且离我们愈远的星系，红移量愈大。这就说明，离我们愈远的星系，离开我们的运动速度也愈大。而且，远离速度的数值可以达到每秒几万千米，甚至接近光速。这一现象被称作河外星系的“红移现象”。“红移现象”被发现已经半个多世纪了，但有些天体的红移一直未能得到圆满的解释，因而成了天文学里的“老大难”问题。

^{*} 埃，常记作 Å，测量光波波长的单位。1Å=10⁻⁸ 厘米。

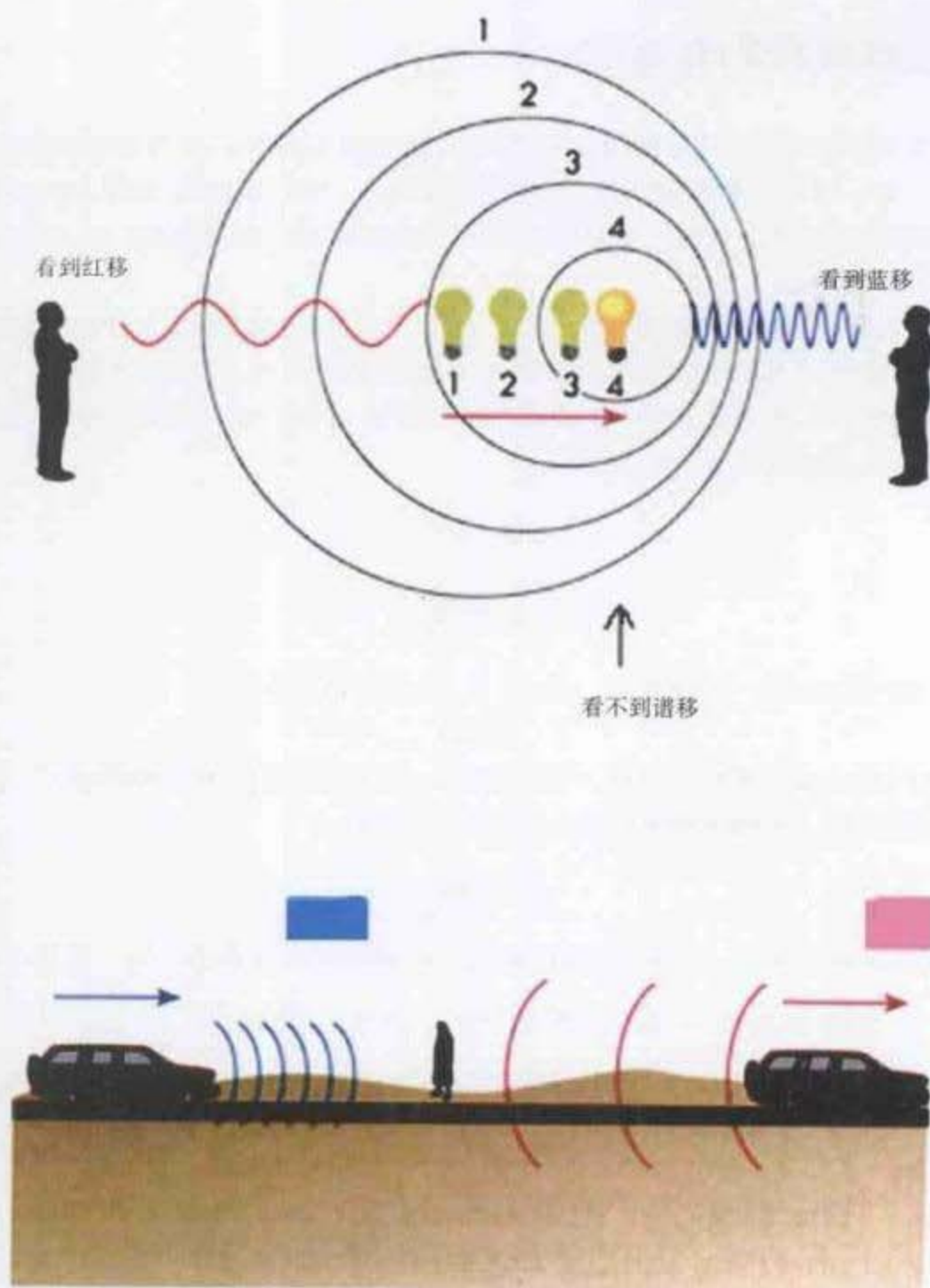


图 3.4 多普勒效应。当光源有运动时，不同方向的观测者会感到波长向不同方向位移（上），车辆经过时，人会感到声调的突然变化（下）。

天蟹离我们有多远

我们从望远镜里可以拍摄一张美丽的蟹状星云照片，而且可以量出它的“大小”来。但这样量出的大小只是它的视大小，究竟实际有多大，还必须知道它和地球的距离。此外，蟹状星云的许多物理参量也必须知道，这些参量也和距离有关。

目前，求蟹状星云距离的方法有十多种，这里，我们介绍一种对蟹状星云来说最为有效的方法：根据蟹状星云的膨胀速度求距离。如图 3.5 所示，用 μ 表示角速度， v 表示线速度， d 表示距离。若在 t 时间内，蟹状星云由 A 点膨胀到 B 点，其张角为 θ ，根据定义

$$\mu = \frac{\theta}{t}$$

$$v = \frac{d \sin \theta}{t}$$

当角度很小时，近似地有， $\sin \theta \approx \theta$ ，上两式可以合并为

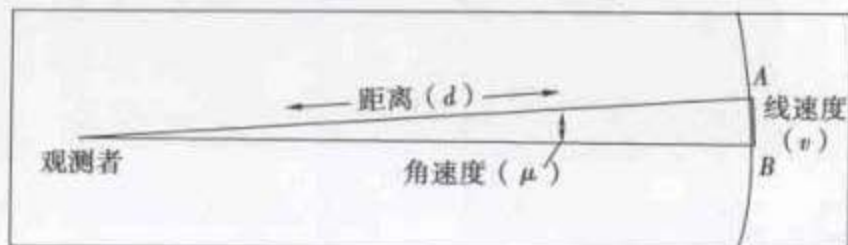
$$v = \mu d$$

习惯上，线速度的单位用“公里/秒”，角速度的单位用“角秒/年”，距离的单位用光年，当用这些单位时，上式可以写为

$$d = 0.69 \frac{v}{\mu}$$

从上式可以看出，只要知道了 v 和 μ ，就很容易求出距离 d 来。该式中的系数 0.69 是这样算出来的：1 弧度 = 206265 角秒，因此，1 角秒/年 = $\frac{1}{206265}$ 弧度/年，1 秒差距/年 = 206265×4.74 千米/秒，和 1 秒差距 = 3.26 光年，便可得到该公式

图 3.5 在角度很小时，线速度和角速度之间具有简单的关系



中的系数 0.69。

在第二节里，我们曾经测量过蟹状星云的膨胀速度，那里得到的是角速度。现在的问题是要设法求出线速度 v 的大小来。如果认为蟹状星云以相同的速度向四周膨胀，则线速度和视向速度的大小是相等的，因此，我们利用前面介绍的多普勒效应的方法来求视向速度。

在望远镜后面附加一个摄谱仪，按图 3.6（下）的位置拍摄蟹状星云的光谱（拍光谱的方法见下一节）。图 3.6（上）的上下两边都是蟹状星云的光谱，中间是实验室里的标准光源的光谱。有意思的是，蟹状星云的每条光谱线都分裂成两条，其中最清楚的是电离氧的一条谱线，波长 $3727\text{\AA}$ ，明显地从中间一分为二。谱线为什么会分裂呢？从图 3.6（下）的拍摄位置就可以知道，摄谱仪的细缝同时拍摄了两个方向的视向速度，一个 $+v$ ，一个 $-v$ 。 $+v$ 部分使得谱线向长波方向位移， $-v$ 部分使得谱线向短波方向位移，这样，谱线就分裂开来了。不难想象，我们在用多普勒效应公式计算时，得到的应该是视向速度的 2 倍，即

$$\Delta\lambda = \frac{2v}{c}\lambda$$

或

$$v = \frac{c}{2} \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

于是，测量出谱线分裂的宽度 $\Delta\lambda$ ，就可以求出速度 v 来。再知道角速度 μ ，距离 d 就求出来了。不同人得到的结果并不完全一致，1968 年特丽布尔测得的结果， $v=1450$ 千米/秒， $\mu=0.222$ 角秒/年，这样求得蟹状星云的距离 $d=1380$ 秒差距。

上述方法虽然是目前测量蟹状星云距离最好的方法，但由于蟹状星云向四周膨胀的速度并不完全相等，而我们在计算时假定了它们都相等，再加上观测上的精度限制，因此，所得结果仍然存在一定的误差。

除了上述方法以外，还有许多其他的方法，这些方法大体上可以分为两类：一类方法是从物理角度对蟹状星云的绝对亮度进行估计，再从观测上得到它的视亮度，根据绝对亮度和视亮度的差来求距离。绝对亮度是指天体本来的亮度，视亮度是看上去的亮度。在一定的绝对亮度下，天体的距离愈远，视亮度愈暗，绝对亮度和视亮度的差值也就愈大。这样，我们根据差值的大小，便

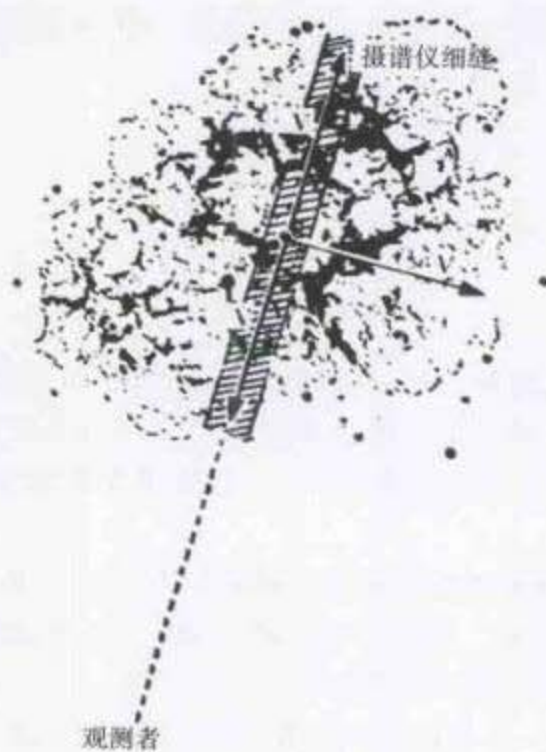
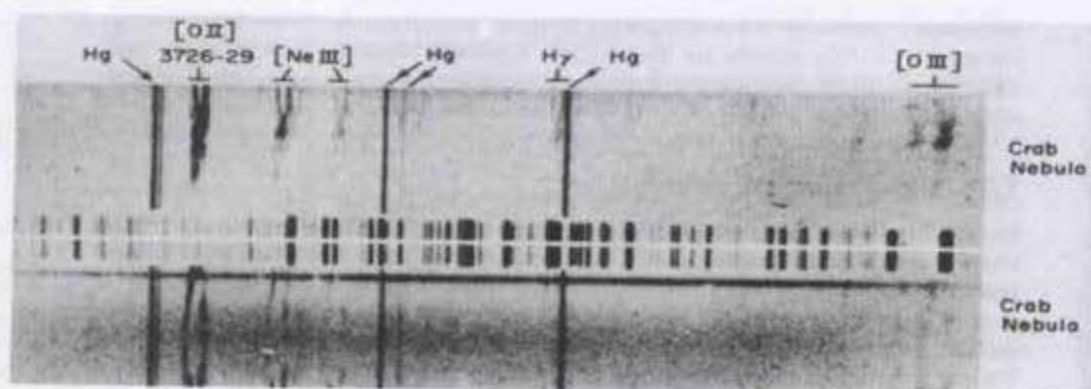


图 3.6 (上): 蟹状星云的光谱, 中间是实验室里的标准比较光谱
(下): 在拍摄光谱时摄谱仪细缝的位置



可求出距离来。好比是把两支同样亮度的蜡烛放在远处，哪一支看上去暗一些，便说明哪一支蜡烛离我们更远些。另一类方法是根据星际物质的影响来求距离。从蟹状星云发出的各种电磁辐射在传播到观测者的路程上会受到星际物质的影响，例如星际物质的吸收或者散射，这种影响的大小取决于星际物质的总量的多少，因此，我们可以把星际物质的总量计算出来。另一方面，通过其他的途径可以估计出星际物质的平均密度来，用平均密度去除总量，得到的便是距离。

总结到目前为止 12 种测量距离的方法，得到蟹状星云距离的最佳值是：1930 秒差距或者 6300 光年。

好大的一只螃蟹

知道了蟹状星云的距离，又知道了它对我们的张角大小，我们就容易求出蟹状星云的实际大小来。从照片上我们可以看出，蟹状星云并不是圆形的，而是椭圆形的，从光学照片上量出，长轴的张角大小是 420 秒，短轴的张角大小是 288 秒，即 420×288 ，距离已经知道是 6300 光年，因此，我们求得蟹状星云的实际大小是 $8.8 \text{ 光年} \times 12.8 \text{ 光年}$ ，或者是

$$8.4 \times 10^{13} \text{ 千米} \times 1.2 \times 10^{14} \text{ 千米}。$$

我们可以同其他天体对比一下。太阳的直径是 1.4×10^6 千米，一个蟹状星云里可以并排放下 8.6×10^7 个太阳，即 8600 万个太阳。太阳系的大小是 1.2×10^{10} 千米，蟹状星云刚好可以容纳 1 万个太阳系。这可真是一只了不起的大“螃蟹”啊！

现在再来看一看我们的“天蟹”有多“重”，也就是它的质量有多大。由于蟹状星云的体积太大了，而且结构十分复杂，就连天文学家也实在难以做到把“天蟹”整块地来“秤”，只好把它“切开来”分别“称一称”，然后再加在一起得到总质量。

在蟹状星云的中心有一颗星，就是前面照相测量时作为中心星的那颗星，它的质量相当于 0.5~1.5 个太阳质量。

从照片上可以看出，蟹状星云有许许多多纤维状结构，这些纤维状结构实际上是气体物质比较密集的部分。通过光谱分析，可以求出这些气体的电子密度大约是每立方厘米 1000 个，知道了电子密度就可以估计出物质的密

度，将密度乘以每根纤维状结构的体积，就可以得到每根纤维的质量是多少。纤维有大有小，对于比较亮的纤维质量较小，对于比较暗的纤维质量较大，相当于 0.02~0.1 个太阳质量，把所有的纤维加在一起，大概有 0.6~3 个太阳质量。

另外，每根纤维的中心部分可能存在着一些更密集的气体，由于它们处在内部，很难观测到。因此，这部分气体的质量究竟有多少只能大概推算，有人估计至少有 1.5 个太阳质量。

至于在纤维结构之间，广大的蟹状星云空间里，那里的物质密度极其稀薄，总质量加在一起才只有 0.0001 个地球质量，完全可以忽略。

我们把所有部分的质量加在一起，最后得出总质量是 2~3 个太阳质量。太阳的质量是地球质量的 33 万倍，1 个太阳 = 1.99×10^{27} 吨，因此，蟹状星云的质量至少是 3.98×10^{27} 吨。

到此，我们对蟹状星云的整体形态有了一个全面的了解，表 3.1 中列出了相关的基本数据。

表 3.1 蟹状星云的基本数据

项 目	数 值	说 明
位置	赤经 5 时 31 分 5 秒，赤纬 $21^{\circ}59'$ 银经 184° ，银纬 -6°	在银河系里比太阳离银心更远些， 在银道面之下 200 秒差距
距离	1930 秒差距或 6300 光年	
大小	8.8 光年 $\times$ 12.8 光年	可以并排放下 8.6×10^7 个太阳或 10000 个太阳系
质量		
中心星	0.5~1.5 个太阳质量	
电离气体	0.6~3 个太阳质量	
中性气体 (纤维中心)	可能 1.5~几个太阳质量	
总质量	2~3 个太阳质量或 $3.98 \sim 5.97 \times 10^{27}$ 吨	总质量的可能范围 1~10 个太阳 质量
膨胀速度	1450 公里/秒	不同人测得的结果有些不同



4 来自天蟹的信息

我们已经对本书主人公的发现过程和外貌特征做了相当详细的介绍。从这节起，我们要逐步深入研究主人公的本质。要达到这个目的，天文学家首先必须掌握来自天体的各种信息，真实而可靠的大量资料。然后，再利用已经为实验所证实了的物理规律对这些资料进行分析，从而对其本质做出正确的物理剖析。尽管有时得到的结论非常“离奇”，但由于整个观测和分析过程是建立在严肃认真的科学基础上，科学家们往往对得到的结果深信不疑，并且总是设法透过这些“离奇”的现象去开拓新的科学领地。

天体能告诉我们什么

要想彻底了解一个天体，当然，最好到上面去亲眼看一看。对于月球，人类已经实现了这一点，多次派人实地考察，甚至搬回成百千克岩石供实验室化验。对太阳系内的其他行星，也已经做到把仪器送上去进行观测。这些成就在人类历史上的确是了不起的，但我们能进行实地考察的天体毕竟是少得太可怜了。就太阳系里的天体来说，再过 100 年恐怕也很难做到全部实现着陆，何况飞到太阳系之外去呢！因此，只能依靠分析天体发出来的信息。

那么，宇宙中的天体都能送给我们哪些信息呢？到目前为止，科学上所想到的信息总共只有四种。表 4.1 列出这些信息和它们的性质，从中可以看出，对于研究太阳系以外的天体来说，目前唯一有效的途径是观测从天体发来的电磁波。



表 4.1 天体送给我们的信息

信息	性质	研究情况
电磁波	由光子组成, 以光速 c 传播	由于空间科学的发展, 已经实现全波段观测
宇宙线	来自宇宙的各种高能粒子	取得一定的成绩, 但对太阳系之外的宇宙线还不能肯定其来源和确切方位
中微子	在热核反应中产生的一种类似光子的粒子, 但穿透本领极强, 不易观测	实现了对太阳中微子和个别超新星爆发发出的中微子的观测
引力波	根据广义相对论, 在引力场中, 大质量的天体应发出比较强的引力波	美国物理学家韦伯声称观测到了, 但许多人对其是否存在有争议。最新的研究倾向于存在

电磁波在空间是普遍存在的, 真是无时不有, 无处不在。初学者往往有一种错误概念, 以为只是收音机和电视机里收到的那些才属于电磁波。其实, 那仅仅是电磁波里很小的一部分, 整个电磁波所包括的有: γ (读伽玛) 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、微波和射电波。电磁波的波长从 10^{-12} 厘米一直到几万里。

来自天体的电磁波不能全都顺利地到达地面, 因为地球大气是一个滤波器, 它只允许两个波段的电磁波通过: 一个波段在可见光区, 包括一部分近紫外光和近红外光; 另一个波段在射电波区, 波长从几毫米到几十米。我们常常把这两个波段区域称为大气为我们打开的两个“窗口”。几百年来, 天文学家们只能透过这两个“窗口”去观测来自天体的信息。“窗口”以外的电磁波统统地被封锁在大气之外, 这对于天文观测来说固然不便, 但对于人类来说还得感谢大气, 如果大气真的把所有的窗口都打开, 强烈的短波辐射早致人类于死地了。图 4.1 告诉我们, 在不同波段, 大气允许穿越的高度。显然, 只有两个“窗口”波段, 电磁波能够到达地面。

20 世纪 60 年代以后, 空间天文学得到迅速发展, 成批的火箭、人造卫星和宇宙飞船被送上太空, 观测到的电磁波日益扩展, 天文学家们的眼界豁然打开了。尤其是 X 射线和 γ 射线的观测, 获得大量预想不到的成果。无怪乎天文学家们兴奋地宣称: “当今已进入全波段天文学的兴盛时代。” 现在, 由于天

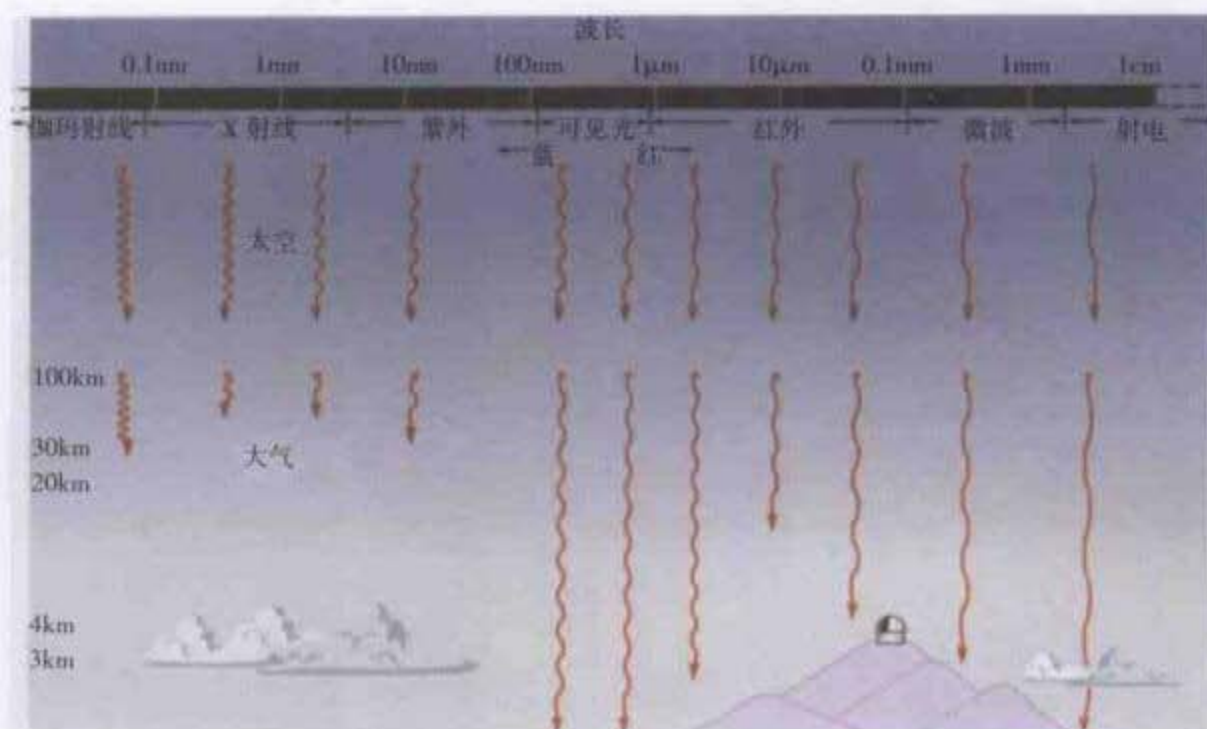


图 4.1 来自天体的电磁波和地球大气允许透过的高度

体物理学的飞速发展，加之研究手段越来越丰富，吸引着越来越多的物理学家、数学家、化学家和生物学家加入了天文研究的行列，开辟了许多新的研究领域，这中间当然也包括蟹状星云。

拍一张光谱

在所有观测手段中，给予我们信息最多的莫过于光谱了。我们已经看到过蟹状星云的光谱，而且用它测量了蟹状星云的膨胀速度，今后还要经常使用光谱，因此有必要了解光谱是怎样拍摄的。

拍摄光谱的仪器叫做摄谱仪，图 4.2 是一架摄谱仪的构造原理图。摄谱仪的最前方是一个细缝，星光从这里进来，进入的光是白光。细缝后面通常放一个透镜，叫做准直镜，准直镜将进入的光变为平行光。平行光经过三棱镜被色散开来，不同波长的光色散的程度不同，偏转的角度也就不同。这样，经过成像镜重新聚焦以后，便形成一排按波长顺序排列的光谱。如果在这里放上照相底板，便可以把光谱拍摄下来。近代，一般不再放照相底板，而是放上灵敏度

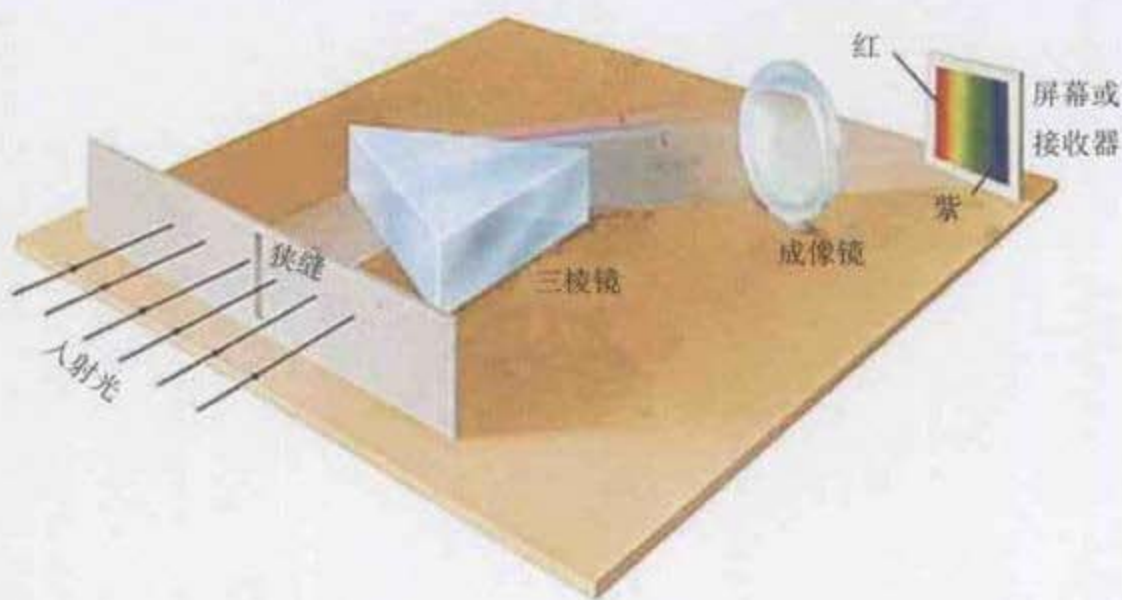


图 4.2 摄谱仪的构造原理图

更高的电子分光器件，叫做 CCD。CCD 记录下来的光谱讯号和照相底板是一样的，经过计算机处理便得到天体的光谱。

摄谱仪都是衔接在望远镜的后面的，望远镜把要观测的天体成像在摄谱仪的细缝上进行拍摄。一般要经过几十分钟，甚至几小时的露光，才能拍出一张清晰的天体光谱。拍完天体的光谱以后，还要拍摄标准光源的光谱（一般是用氖光源或铁弧光源），将标准光谱拍在天体光谱的上下两侧，以备比较和测量之用。

世界上的天文台都可以从事天体光谱的拍摄工作。在我国，国家天文台、紫金山天文台、上海天文台、云南天文台等也都可以拍摄天体的光谱。其中，云南天文台的新台址将设在丽江，那里地处西南高原，气候条件很适宜天文观测。

天文学家的“法宝”

听来似乎难以置信，天文学家居然能把几万光年远的一个天体上的情况报告得一清二楚：温度、压力、密度、化学组成、磁场强度……天文学家们手里

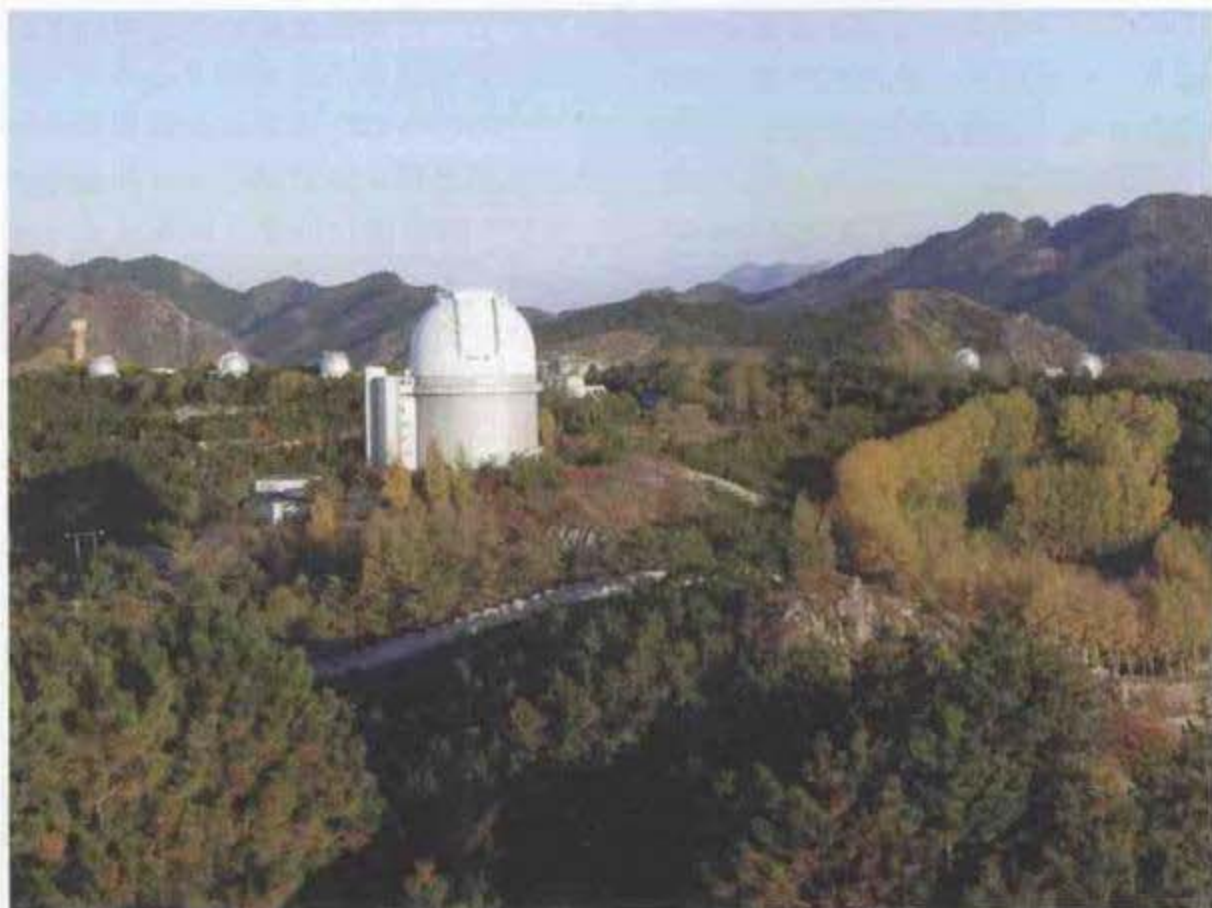


图 4.3 国家天文台的 2.16 米望远镜外观，远处可以看到该天文台其他一些小型望远镜

的“法宝”是什么呢？原来就是天体的光谱。

不同类型的天体发出来的光谱是不同的，通常把光谱分为两类：连续光谱和线光谱。连续光谱是按红橙黄绿青蓝紫连续排列下来的光谱；线光谱是一些离散的光谱线。一般情况下都是线光谱和连续光谱叠加在一起，即在连续光谱背景上呈现出一根根的光谱线（图 4.4）。

图 4.4 一张标准的天体光谱，在连续光谱背景上有许多吸收线，上下两边是实验室里的标准光谱



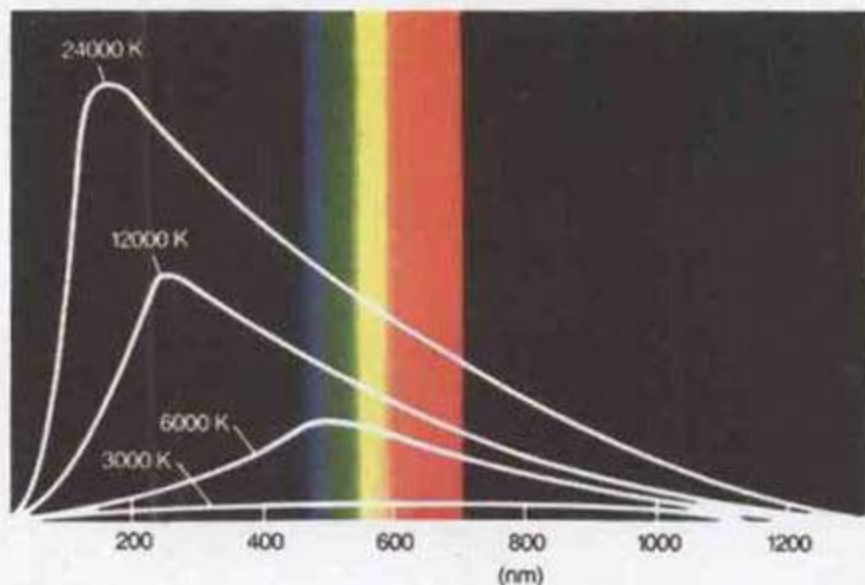


先看一看天体的连续光谱能告诉我们些什么。我们坐在火炉旁边时会感到暖和，这是因为火炉向四周发出辐射，这种辐射就属于连续光谱。很自然，火烧得愈旺，也就是温度愈高，辐射愈强烈。实验室里对它们之间的关系进行了定量测量，加热一种叫做“黑体”的物体，所谓黑体实际上就是一个内壁涂黑（涂白也行）的空腔。把黑体加热到一定温度，用摄谱仪拍摄从黑体里发出来的连续光谱，测量各个波长的辐射强度。这样，我们就可以得到各种温度下的连续光谱的强度曲线，如图 4.5 所示。用这些曲线作为标准曲线，然后，将天体的连续光谱曲线拿来与这些标准曲线进行比较，与哪一个温度下的标准曲线符合得最好，天体的表面温度就是多少度。例如，我们常说太阳的表面温度大约是 6000 度，就是这样定出来的。

利用连续光谱不仅可以测定天体温度，还可以检验天体的辐射性质。实际上，并不是所有天体的连续光谱都能做到与标准强度曲线符合得很好，往往在很多波段符合不起来。这种情况说明，天体在这些波段发出的辐射并不是由于加热而发出的，而是由于其他原因。像这些不是由于加热原因而发出的辐射统称作“非热辐射”。非热辐射在近代天体物理学中有着重要意义，因为它说明了在这类天体上存在着一些“特殊环境”。这些特殊环境往往是地面上难以实现的，因此，这正是天文学家和物理学家兴趣之所在。蟹状星云在这一点上也不甘落后，它也是一个非热辐射的天体。

线光谱的形成和原子的结构密切联系在一起。大家知道，一个原子是由带

图 4.5 用连续光谱测定天体的温度





正电的原子核和带负电的电子组成的，电子按一定轨道围绕原子核旋转，每个轨道具有一定的能量状态。一个原子可能存在的轨道非常多，每个轨道和每个轨道的能量状态都不相同。我们把每一个能量状态叫做一个能级。当电子从一个轨道跳到另一个轨道上时，由于能级大小的不同，电子要放出能量或者吸收能量。就像大人拉着一个小孩子在台阶上蹦来蹦去一样，从下往上蹦要费力气，从上往下蹦就省力得多。

图 4.6 是最简单的原子——氢原子的能级结构图。氢原子虽然只有一个电子，但电子可呆的轨道却是很多的，每个轨道都对应着一个能级。最靠近原子

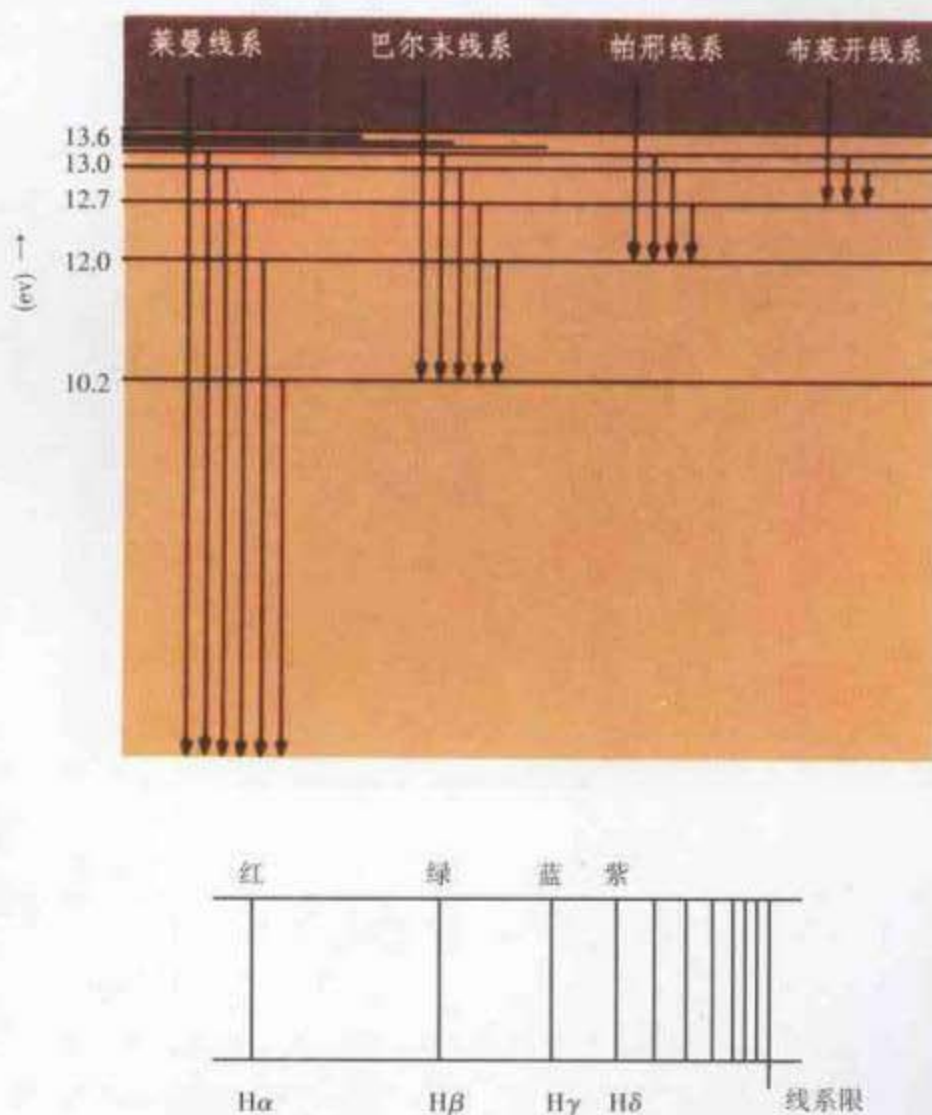


图 4.6 (上) 氢原子的能级图和形成的各种谱线系
(下) 巴尔末谱线在光谱中的排列形式



核的能态叫做基态，电子处于基态时能量最小。基态以上的态都叫做激发态。

电子从上往下跳，也就是从高能态向低能态跳，要放出一份能量，这份能量转变成光。光的波长和放出的能量多少有关，它们的关系是：

$$E_m - E_n = hc \frac{1}{\lambda}$$

式中 E_m 和 E_n 代表两个不同能级的能量， h 是一个常数，叫做普朗克常数， c 是光速。可见，放出的能量愈多，光的波长愈短。我们知道，光是由光子组成，因此，波长愈短的光子能量愈大。反过来，如果电子从下向上跳，则要从外界吸收一份能量，这份能量也是由光子提供的，而且光子的波长和发射时的波长完全相同。以这种方式发射光子或吸收光子，光子的波长都是一定的，因此，表现在光谱中就是一条很锐的谱线。

原子的谱线非常复杂，就连最简单的氢原子仍然可以形成一组一组的谱线，其中最著名的是巴尔末线系，这是从第二个能级出发形成的。这组谱线都处在可见光区，分别叫做 H_α ， H_β ， H_γ ，……相应的波长分别是 $6562.8\text{\AA}$ ， $4861.3\text{\AA}$ ， $4340.5\text{\AA}$ ……

有了这些基本知识，就不难理解每一根谱线都是和一定元素的原子联系在一起，就像是原子的“身份证”一样。我们在实验室里预先把所有原子的谱线都测量出来，造一个“户口册”。当拍好天体的光谱以后，就将其谱线与“户口册”对照，这项工作叫做谱线的证认。一张光谱片有时多达几千条谱线，天文学家需要耐心地一根一根地进行证认，最后查清楚这个天体具有哪些化学元素。根据谱线的强弱，还可以知道每种化学元素的含量有多少。

虽然是同一种化学元素，但在不同的物理条件下，形成的谱线可以相差很多，我们根据这种差别可以判断出天体上的各种物理状况来。因此，光谱线不仅可以告诉我们天体的化学组成，还可以告诉我们天体上的压力、密度、温度、磁场等。

这里为“禁区”开了绿灯

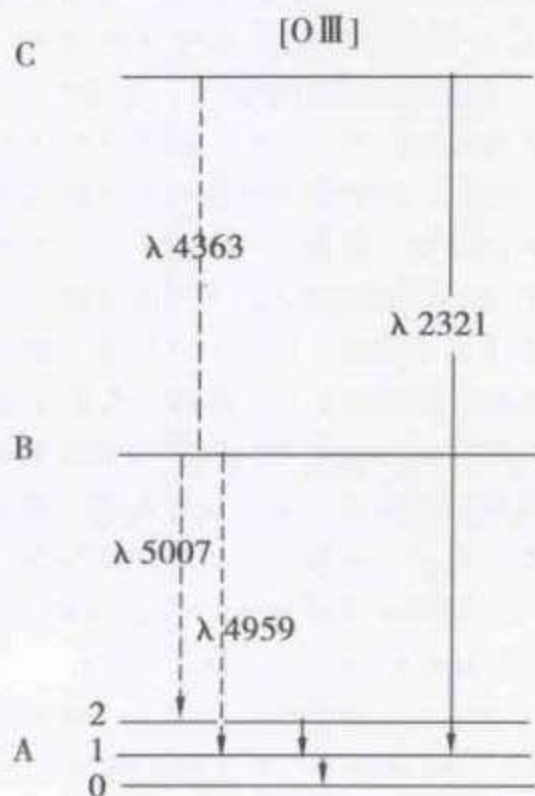
最初，天文学家拍下蟹状星云的光谱后，也像往常一样，测量出每一根谱线的波长，然后与实验室里的“户口册”进行对比。但是，完全出乎预料，无

论天文学家们如何细心，在“户口册”里总是找不到它们的“号码”，只好把这些谱线打入“另册”。在蟹状星云里，被打入“另册”的谱线很多，例如：3727Å，3869Å，4068Å，4959Å，5007Å，……为了和能入“正册”的谱线加以区别，在产生这条谱线的元素上加了一个方括号“[]”。

这些入“另册”的谱线最初都被糊里糊涂地叫做“氢线”，因为只有各种星云里才能观测到它们，这些氢线都是来自星云里的气体。后来，依靠物理学家的帮助，才逐步搞清楚它们的来历。原来，这些谱线并不特殊，也都是是一些普通的元素产生的，只是在地球上的物理条件下不允许它们存在，因此被统一定为“禁线”。

中性原子失去外围的电子叫做电离，失去一个电子叫一次电离，失去两个电子叫二次电离，依此类推。标记方法是在元素符号后面加罗马数字，但要注意，电离级次等于罗马数字减1，如OⅢ代表二次电离氧，NeⅠ代表中性氖，等等。现在让我们看一看二次电离氧的几条禁线的能级图（见图4.7）。前面曾经给出过电子在任意两个能级之间跳跃的关系，即 $E_m - E_n = hc \frac{1}{\lambda}$ ，图中标出的

图4.7 二次电离氧的几条“禁线”和普通线，虚线表示“禁或跃迁”。正常谱线 $\lambda = 2321\text{Å}$ 已处于紫外光谱区





波长数据就是根据这个公式计算出来的。不过，实际情况却非常复杂。电子在哪些能级之间可以跳，在哪些能级之间不可以跳，并不是任意的，而必须受一定物理法则的支配。量子力学里把电子在能级之间的跳跃称作“跃迁”，电子的跃迁必须服从一定的概率，叫做“跃迁概率”。两个能级之间的跃迁概率值大，电子就容易在这两个能级之间跃迁；跃迁概率值小，容易程度就差一些。如果跃迁概率值趋近于零，则说明电子在这两个能级之间的跃迁实际上是被禁止的，我们把它叫做“禁戒跃迁”。图 4.7 中用虚线表示的都是禁戒跃迁。这样，当电子跑到某一个能级上去以后，下一步往哪个能级上跳，必须服从跃迁概率的支配，不能自行其是。像图中的能级 B 便属于电子不许去的“禁区”，与“禁区”相对应的谱线也就成了“禁线”。禁线在通常情况下是观测不到的，因此在实验室的“户口册”里也就被除了名。就像一个人爬到一个山坡上，从山坡上往下走的路有若干条，有大路，也有小路，走大路的人自然要多一些，走小路的人自然要少一些。还有一些地方是没有路的，非到万不得已，是没有人从这里走的，这些地方也就成了“禁区”。

星云里的情况则完全不同，那里的最大特点是物质非常稀薄。拿蟹状星云来说，每立方厘米里平均只有大约 1000 个电子，加上其他粒子，最多只有 2000 个粒子。在这样稀薄的条件下，原子如入“无人之境”，一个原子可以在这里自由自在地运行几天、几周、甚至几年才和另外的粒子发生碰撞。在这种条件下，被“禁止”前往的能级反而显示出优越性，这样的能级状态叫做亚稳态。亚稳态虽然属于“禁区”，但是电子一旦来了，却允许在这里多停留一会儿。一个电子在一般的能级状态上只能停留 10^{-8} 秒左右，在亚稳态上则可以停留 1 秒钟，甚至上千秒钟，这与 10^{-8} 相比，则长了很多。电子长期停留在亚稳态上的条件是没有其他粒子与之碰撞。在星云里，“无碰撞”的条件得到了充分满足，于是，积累在亚稳态上的原子数目愈来愈多，远远超过处于其他能态的原子数目。积累得太多了，电子只好冲破“禁戒跃迁”的限制，从亚稳态出发向下跃迁，被认为是“禁线”的谱线便在这里出现了。这好比山坡上有一个凉台，爬上去的人都停在那里休息，等到山坡上挤满了人，大家都想一拥而下，多数人反而只好在没有路的地方滚爬下来。

我们不妨与地面上的情形对比一下。在地球大气里，平均每立方厘米里有 2.6×10^{19} 个分子，如果原子处在这样的密度条件下，会不停地和其他粒子碰来



碰去，电子不可能在亚稳态上停留，因此也就无法产生“禁线”。谈到这里，细心的读者会感到有些困惑，怎么，蟹状星云还不如地球大气来得密呢？的确是不如！蟹状星云的物质密度比地球大气的密度低了十几个数量级，简直可以和地面上的“真空”相比。

天上的“仙境”在地面上固然无法实现，但它却可以打开人类思想的境界。当科学家们终于清楚了禁线的产生道理以后，便努力在实验室里创造冲破“禁区”的条件。经过长期的努力，终于制造出地上的“禁线”——激光。激光的道理就是设法把电子都赶到亚稳态上，等到亚稳态上的电子数量堆积得很多了，再让它们一起往下跳。这样，在极短时间内就可以发出非常强的光，而且波长也是单一的，这种光便是“激光”。激光一经问世，很快便在各个领域里显示出巨大的威力。

解剖开来

普通线也好，禁线也好，它们都是天文学家手里的“法宝”，靠了这些“法宝”，就可以把蟹状星云“解剖”开来，看一看它是由什么物质组成的。

我们首先分析蟹状星云的纤维结构部分，实际上蟹状星云主要是由这些纤维状物质组成的。表 4.2 列出在其光谱中发现的各种谱线，产生每条谱线的元素都列在表内。这里给出的谱线强度是相对强度，是以氢的巴尔末线系的第二条谱线作为 100 来度量的。有两条禁线特别强，一条是一次电离氧的 $3727\text{\AA}$ ，另一条是二次电离氧的 $5007\text{\AA}$ 。这说明在蟹状星云的物理条件下，处于自由状态的电子（自由电子）所具有的能量刚好适合把原子轨道上的电子碰撞到与这两条谱线相对应的亚稳态上去。

除了通过证认谱线确定化学组成以外，还可以根据谱线的相对强度确定星云中的各种物理条件，其中包括温度和电子密度。根据这些谱线的相对强度得出的温度数值具有一定的范围，大体上是从 $8000\sim 17000\text{K}$ 。这说明在蟹状星云里各处的温度并不是相等的，而且相差很悬殊。纤维状结构的电子密度数值也有一个范围，每立方厘米从 $3\times 10^8\sim 3\times 10^9$ 个。

表 4.3 列出各条谱线都是由哪些元素产生的，也就是告诉了蟹状星云的化学组成，包括有：氮、氧、氦、氢、氖、硫等。至于每一种元素的含量占多少，计算起来就比较复杂了，这里只能把结果给出来。



表 4.2 蟹状星云里发现的主要谱线

波长 (Å)	元素 符号	名称	相对 强度	波长 (Å)	元素 符号	名称	相对 强度
3426	NeV	四次电离氖	27	5007	OIII	二次电离氧	1192
3727	OII	一次电离氧	1260	5755	NII	一次电离氮	11
3868	NeIII	二次电离氖	190	5876	HeI	中性氦	79
3889	HeI	中性氦		6300	OI	中性氧	120
4101	Hδ	氢	31	6364	OI	中性氧	33
4340	Hγ	氢	61	6548	NII	一次电离氮	136
4363	OIII	二次电离氧	19	6561	Hα	氢	316
4471	HeI	中性氦	28	6584	NII	一次电离氮	410
4686	HeII	电离氦	68	6716	SII	一次电离硫	924
4861	Hβ	氢	100	6731	SII	一次电离硫	924
4959	OIII	二次电离氧	392				

表 4.3 中给出的元素含量是以氧的含量作为标准（取为 100）的，用不同温度进行计算，得出各种元素所占的比例也有所不同，表中给出三种温度下的数据，也就是蟹状星云的基本物理状态。可以看出，无论在何种温度下，含量最多的总是氢。氢是宇宙中最丰富的元素，绝大部分天体中氢的含量都是最丰富的。为了便于比较，表中还给出典型的行星状星云的化学组成，因为这类星云在结构上与蟹状星云颇为相似。通过对比发现，蟹状星云中氮的含量显著偏高，在许多区域占到百分之五十以上，不仅比普通星云的含氮量高，也比恒星里的含氮量高出很多，太阳里氮的含量只有百分之几。氮在天体中起着举足轻重的作用，因为天体的能量大都是通过氢燃烧变为氦提供的。氮的多少反映了天体过去的产能经历，蟹状星云中氮的含量为什么这么高，至今仍是一个谜。

表 4.3 蟹状星云纤维物质的化学组成

	氢	氮	氮	氧	氖	硫
T= 8000K	37000	15000	26	100	76	27
10000K	89000	40000	254	100	55	31
17000K	320000	20000	109	100	39	32
行星状星云	170000	32000	40	100	15	9

根据分析，既然蟹状星云中各处的温度等物理条件不同，各种元素的分布情况也应该不同。为了验证这一点，天文学家想出了一种很妙的方法，可以清楚地告诉各种元素的分布情况。在对蟹状星云拍照时，照相底板前面放上一片滤光片，这种滤光片做得很严格，只允许某一种波长或者某一窄带的光通过，其他的光都被滤掉。依靠这种滤光片，天文学家就可以随心所欲地只让一种谱线的光通过。这样，在后面拍下来的便是与这种谱线相对应的元素的分布，或者是同一种元素不同电离状态的分布。图 4.8 便是用这种方法拍摄的四张照片，每张照片上的分布情形果然都不一样。反过来，分布上的不同也说明了各处的物理状况的确是不同的。

面对一团乱麻似的纤维状结构，耐心的天文学家居然做到一根一根地把它数出来。不仅如此，还对每根纤维本身的结构进行研究，可以想象，这样的

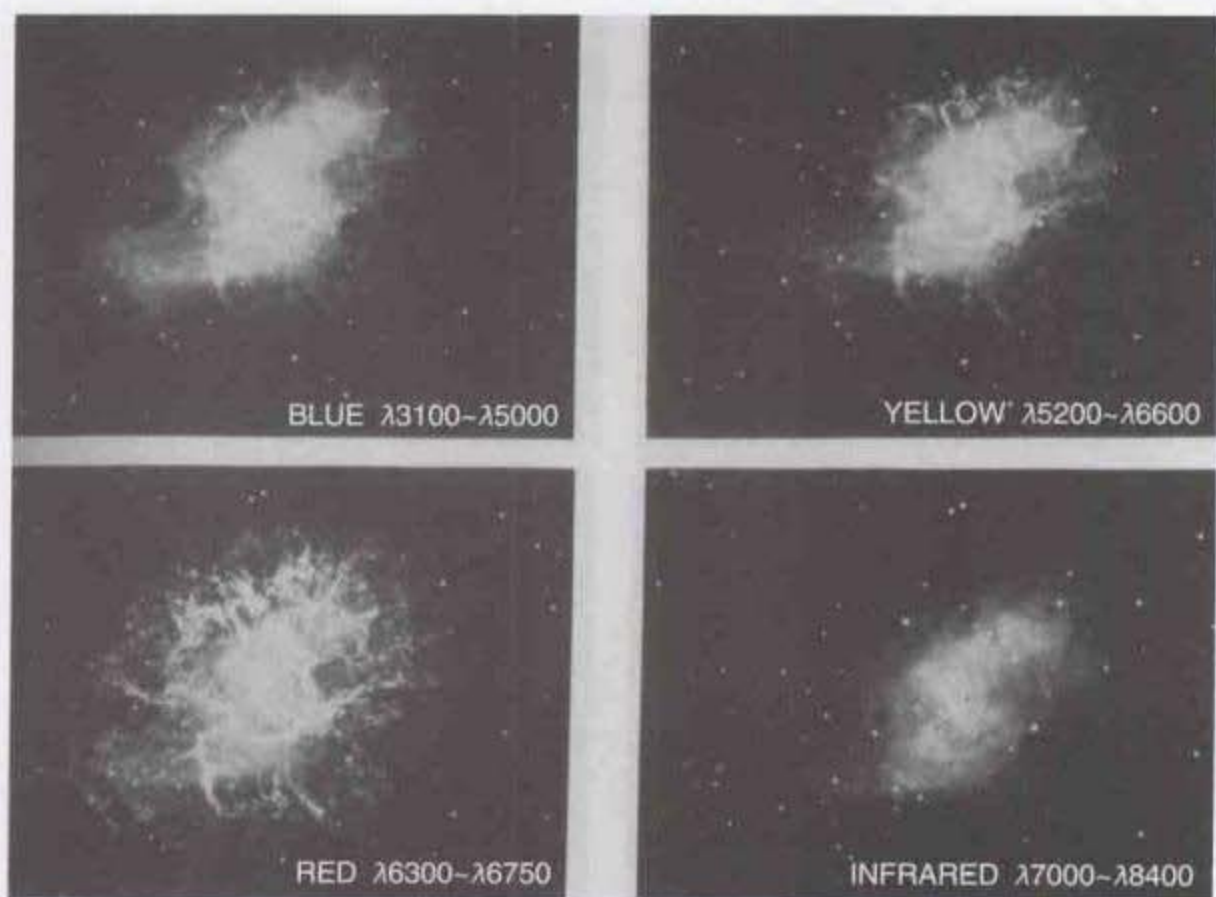


图 4.8 通过各种窄带滤光片拍摄的蟹状星云照片



研究工作需要付出多么艰巨的劳动啊！一根根的纤维都在那里卷曲着，根据计算，如果把一根亮纤维延伸开来，它的长度竟有 17 光年！如果用它来为牛郎星和织女星搭桥，一根纤维就足够了，因为牛郎星和织女星才相距 16 光年。不仅长度够，宽度也绰绰有余，一根纤维的直径就有 2.5×10^{11} 千米，相当于地球到太阳距离的 1000 多倍。如果把所有的纤维连接起来，它的长度有 2 万光年，相当于 2.2×10^{17} 千米，等于我们到银河系中心距离的三分之二。由此可见，只要一个蟹状星云，把其纤维延伸开来，就几乎可以架一座通往银河系中心的“桥梁”。

居然还有螃蟹腿

蟹状星云也的确够名副其实了。你看，它居然还有“螃蟹腿”。一只螃蟹八条腿，我们的天蟹究竟有几条腿，到现在还没有肯定下来，原因是这些“螃蟹腿”都蜷缩在那里。目前已经发现的共有五条腿。

这里所说的“螃蟹腿”并不是指一般照片上所显示出来的纤维状结构，而是另一种物质密集的结构，天文学家把它们叫做“束条”。为了拍出蟹状星云里的这些精细结构，在底板前面加了一种所谓的“偏振滤光片”。偏振滤光片是一种特殊的滤光片，其特点是对磁场的反应比较敏感。用这种方法拍出来的照片和用自然光拍摄的不同，它更好地反映了蟹状星云中磁场强度的分布。图 4.9 便是用这种技术拍下的照片。

为了搞清楚“束条”的结构，用精密的光度计对照片进行测量，并将测量结果形象地描绘下来。图 4.10 便是蟹状星云中心部分的放大，一共显示出五条“螃蟹腿”，上边三条分别叫做“束条 1”，“束条 2”和“束条 3”，中心星旁边的一个叫做“薄束条”，中心星下面的一个呈梯形，有人根据它的样子取名叫“铁砧子”。

这些“束条”在蟹状星云中是一些非常特殊的结构，其最大特点是像螃蟹腿似的会动。早在 1910 年，“束条 1”就被发现，当时的天文学家发现了它在不断变化。实际上，它是在那里不停地振动，振幅可以达到 2 个角秒，振动周期大约是两年。所有的“束条”都有类似的特点，即位置、亮度和长度都在不断地发生变化。后来证明，这种结构上的变化和磁场有关，因为在这些“束条”里都发现了较强的磁场，而且磁场方向是与“束条”方向相平行的。

图 4.9 用偏振滤光片拍下的
蟹状星云局部

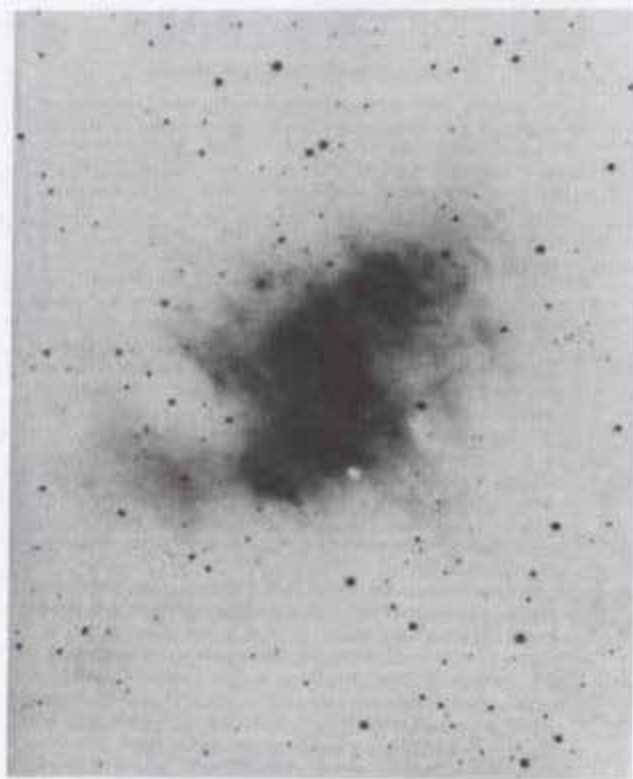
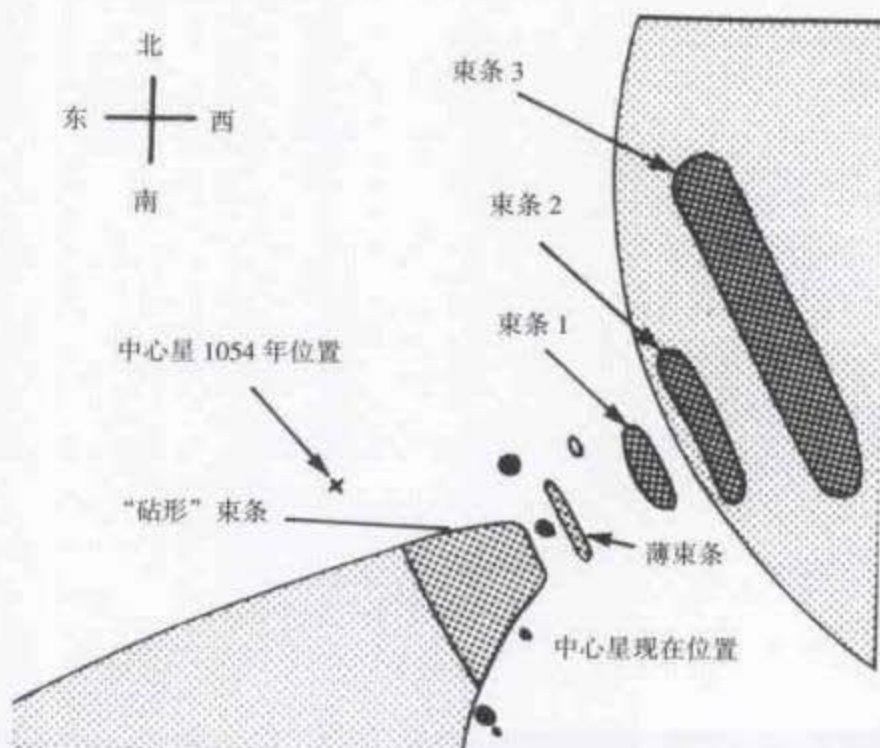


图 4.10 蟹状星云的“束条”结构，由于自行，最初超新星爆发的位置有了一些移动





有的“束条”居然以接近光速的速度在运动，在中心星附近就观测到以接近光速运动的物质，好像是从中心发出的高速运动的物质波。有人认为，这些“束条”可能是高速运动的波激起的扰动而形成的，剧烈的扰动使热电子和局部磁场挤压在一起，从而造成电子密度和磁场强度急剧增加。电子是带电的，它们自然沿着磁场方向聚集，同时发出比较强的辐射，这样就形成一根根的“束条”。为什么要用偏振滤光片去拍摄？就是因为它能反映出磁场的结构，强磁场凝聚区便是“束条”。此外，电子和磁场捆绑在一起形成波，由于波在运动，形成的“束条”也在不停地运动。

可不要小看这几条“螃蟹腿”，虽然从发现到现在已经近百年了，可是它们的物理本质一直没有研究清楚。这里的物理状态是如此不寻常，使得任何一种物理理论都难以给出完满的解释。直到今天，不少天文学家仍为了这几条“螃蟹腿”在日夜地工作着。



5 强大的电波发射台

一个人的能力是有限的，在眼睛上也充分地表现出来。眼睛能看到的电磁波大约是从 $4000\sim 8000\text{\AA}$ ，波长范围只有 $4000\text{\AA}$ ，相当于 0.0004 毫米，还不如一根头发丝粗。而来自天体的电磁波的波长却是从 10^{-12} 厘米一直到几万里，相比之下，人的眼睛的确显得太低能了。拿天蟹来说，有一个看得见的天蟹，还有一个“看不见的”天蟹。不过，人类本身的能力虽然有限，但智慧的海洋却无穷尽，看不见的天蟹今天也终于被我们“看”到了。

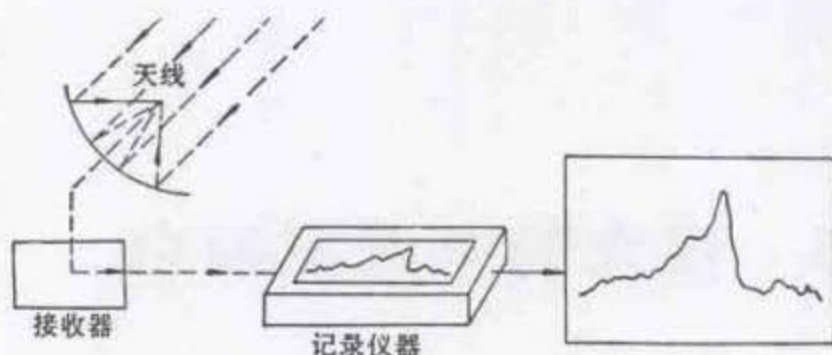
射电天文的崛起

在“看不见的”电磁波段中有一段叫做射电波，波长范围从 1 毫米到几十米。“射电”这个词本来和“无线电”是同义的，不过天文上都习惯叫做“射电”。在地球大气仅为我们开的两个“窗口”中，“射电窗口”比“光学窗口”开得还大些。因此，射电观测方法成功以后，很快便在天文学里形成一门新的学科分支——射电天文学。

战争是残酷的，但战争中的激烈较量也常常促进科学的发展。在第二次世界大战中，希特勒始终未能占领英国，为了对英国进行报复，经常派大批飞机空袭英国。后来，德国发现，每次空袭，英国都有准备，这件事使希特勒的空军司令戈林大伤脑筋，他一直怀疑是否出了间谍。实际上，这个“间谍”就是雷达。当时，英国已经掌握雷达技术。有一次，英国的警戒雷达突然受到干扰，英国人十分惶恐，以为德国人发明了反雷达的新式武器。这件事一直到第



图 5.1 射电望远镜的接收原理，最右边显示的便是记录到的天体的射电信号。



二次世界大战结束后才揭开谜底，原来，干扰英国雷达的是来自太阳的射电波。当太阳上出现大的“黑子”或“耀斑”之类的特殊活动时，会产生非常猛烈的射电辐射。为了纪念这件事，有人建议把这一年——1942 年作为射电天文学的诞生年。

接收天体发来的射电波的设备叫做射电望远镜。射电望远镜的结构和光学望远镜有很大的不同，图 5.1 是一架射电望远镜的构造原理图。天线将来自天体的射电波反射到一个小的转换器上，它将射电波收集起来，变为高频电流。然后，通过一种叫做馈线的电缆线传送到接收机上，馈线的作用是使能量在传输过程中损耗最小。接收机的原理实际上和日常收音机一样，只不过它的灵敏度非常高罢了。接收机将接收到的微弱射电信号加以放大，并经过一番“整理”，送到记录仪器上。记录仪器按照射电波的强度画出图来，这时看不见的射电波就被我们“看见”了。

天线自然是射电望远镜里最重要的部件，它相当于光学望远镜里的物镜，不过，天线不必用玻璃制造，只要用金属片就可以了。如果接收的射电波波长比较长，还可以用金属网来做。为了提高接收能力，射电望远镜的天线制造得愈来愈大，目前，最大的可动单天线是前联邦德国的口径 100 米的全动抛物面天线，重达 3200 吨。美国有一架天线干脆将一个山谷铺上金属当天线（图 5.3），这样的天线虽然无法自动地跟踪天体，但是它接收微弱信号的灵敏程度却是无与伦比的。

还可以将许多架射电望远镜的天线组合在一起使用，叫做射电干涉仪，干涉仪可以提高观测天体的分辨能力。比方说，用一个单天线观测太阳，只能接收整个太阳发来的射电波，分不出是哪一个局部部位发出的。如果用干涉仪观



图 5.2 英国焦德雷尔班克天文台 82 米的射电望远镜。这架仪器做出了许多出色的工作

测，就可以一点一点分清楚。干涉仪的分辨能力与组合天线的距离有关，距离拉开得愈远，天体分辨得愈清楚。现在已经做到跨洲的射电干涉仪，例如，有一架干涉仪的两个天线，一个放在美国，一个放在澳大利亚，使用这样的干涉仪，可以分清楚月球上相距只有 20 厘米的两个物体。科学家的进取心是无止境的，有人设想，在地球上放一个天线，在月球上放一个天线，让它们联合起来组成一架射电干涉仪，在宇航技术飞速发展的今天，实现这样的设想看来也是完全可能的。

在我国，虽然 20 世纪 50 年代末才开始动手建造射电望远镜，但在短短的时间里已经取得了不小的成绩。除了许多射电望远镜以外，在北京东北郊辽阔的密云水库北岸竖立着一排十分壮观的天线阵，这就是国家天文台的射电干涉仪（图 5.4），它使用的是米波波段，可以观测来自太阳或宇宙中的射电波。

射电天文学一登上天文舞台，就显示出它的蓬勃的生命力。20 世纪 60 年代以后，天文学上不断传出令人惊奇的新发现，其中大部分成果都是和射电天文学的功劳分不开的。追求进取的天文学家甚至在尝试着用巨大的射电望远镜



图 5.3 设在波多黎各的阿尔西巴山谷里的 305 米巨型射电望远镜，最近，经过改造，它的口径达到了 360 米



图 5.4 国家天文台密云观测站的射电干涉仪

接收“外星人”发来的消息。

金牛座 A

光学望远镜能看到一颗颗的星，并把它们编成星表。射电望远镜也仿照光学望远镜的方法寻找“射电星”，但搜寻“射电星”的工作要难得多。要知道，“射电星”刚刚搜寻了几十年，而“光学星”实际上已经搜寻了千余年。更为麻烦的是，“射电星”不像“光学星”那样集中在一点，而往往是模模糊糊的一片。后来更进一步发现，所谓的“射电星”不一定是由星发出的，有许多是由河外星系发出的，因此把“射电星”叫做“射电源”更合适些。当射电源的面积比较小时，也常称之为射电点源或分立射电源。到目前为止，已经发现几十万个射电源，仿照星表的方法，也把它们编成“射电源星表”。

我们把最强的一些射电源，按位置分布点在一起，便得到一张射电源天图（图 5.5），这里使用的坐标是银道坐标，正中间的横线代表银道面，上下两端

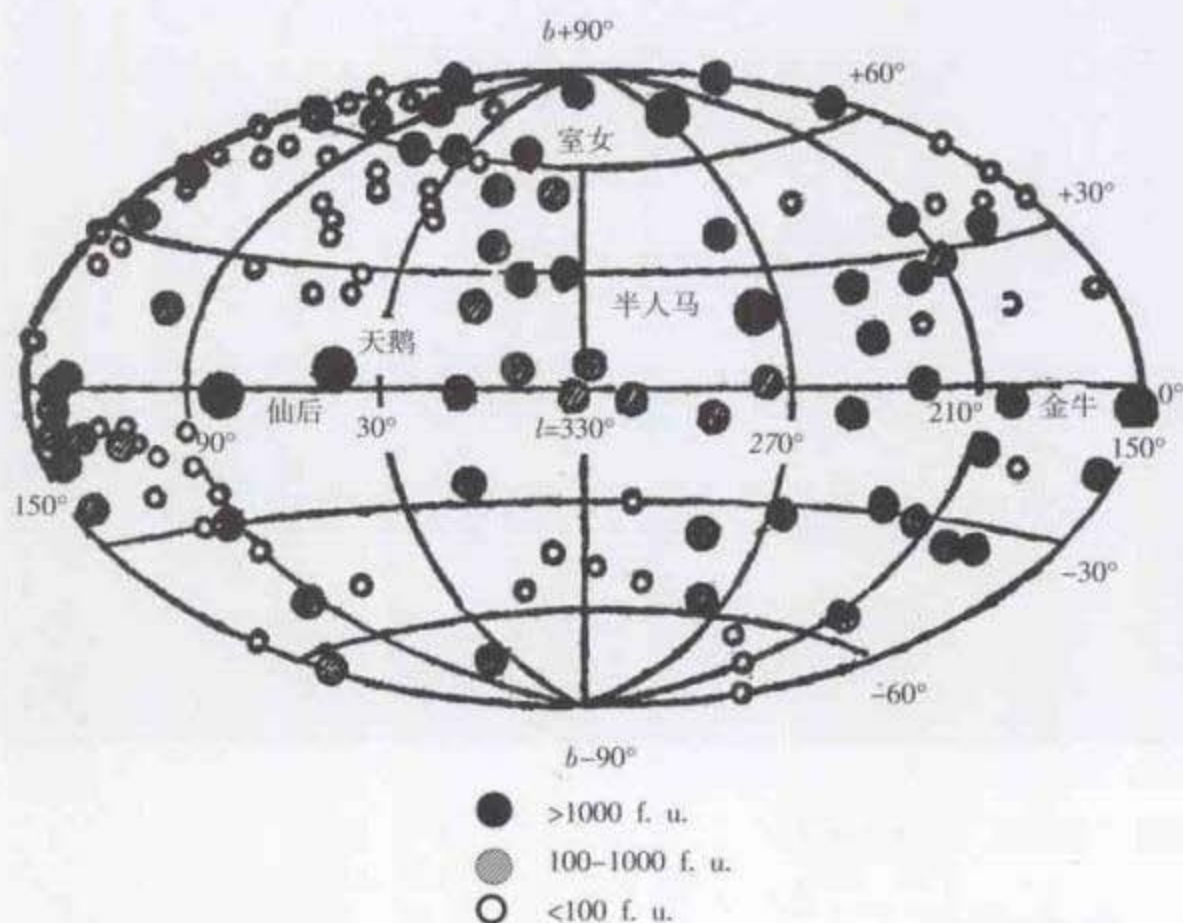


图 5.5 强射电源在银河系里的分布

是北银极和南银极， l 和 b 分别表示银经和银纬。从图中可以看出，全天中有五个射电源最强，其中，我们感兴趣的是金牛座中的那一个。每一个星座中的射电源按英文字母排序，所以这个射电源的名称是“金牛 A”。我们还记得，蟹状星云也是位于金牛座里，经过仔细查证，金牛 A 果然正是蟹状星云。

蟹状星云是第一个被证认出的射电源，是由澳大利亚天文学家使用悉尼附近的海岸干涉仪于 1948 年发现的。海岸干涉仪是一种很巧妙的设计，利用海面作为一面反射天线，和岸上的一面天线合起来组成一架射电干涉仪。在这之前，除了来自太阳的射电波以外，天文学家一直不清楚来自宇宙的射电波都是些什么天体发出的。金牛 A 被证认出来，说明像蟹状星云这样的特殊天体，不仅在光学波段，而且在射电波段同样发射着很强的电磁波。



用射电望远镜进行观测，所得到的图样不再像光学照片那么漂亮了。射电望远镜无法做到像光学望远镜那样拍一张完整的照片，只能一点一点地进行测量，然后将各点的强度描绘下来。图 5.6 是用波长为 11 厘米的射电望远镜观测的蟹状星云的射电强度图，为了便于直观对比，在背景上叠加一张光学照片。射电强度图的画法和在地图上画等高线有些类似，每一条线代表一个等强度线，愈靠近中心的线，辐射强度愈强。从这张图上可以看出两点：第一，蟹状星云在这个波段上的射电辐射强度和光学辐射强度在分布上是一致的；第二，用射电波测到的蟹状星云比用光学看到的大得多，图中最外面的等强度线比光学像大三分之一还多。这说明，在这些区域虽然不能发射可见光，却仍然可以

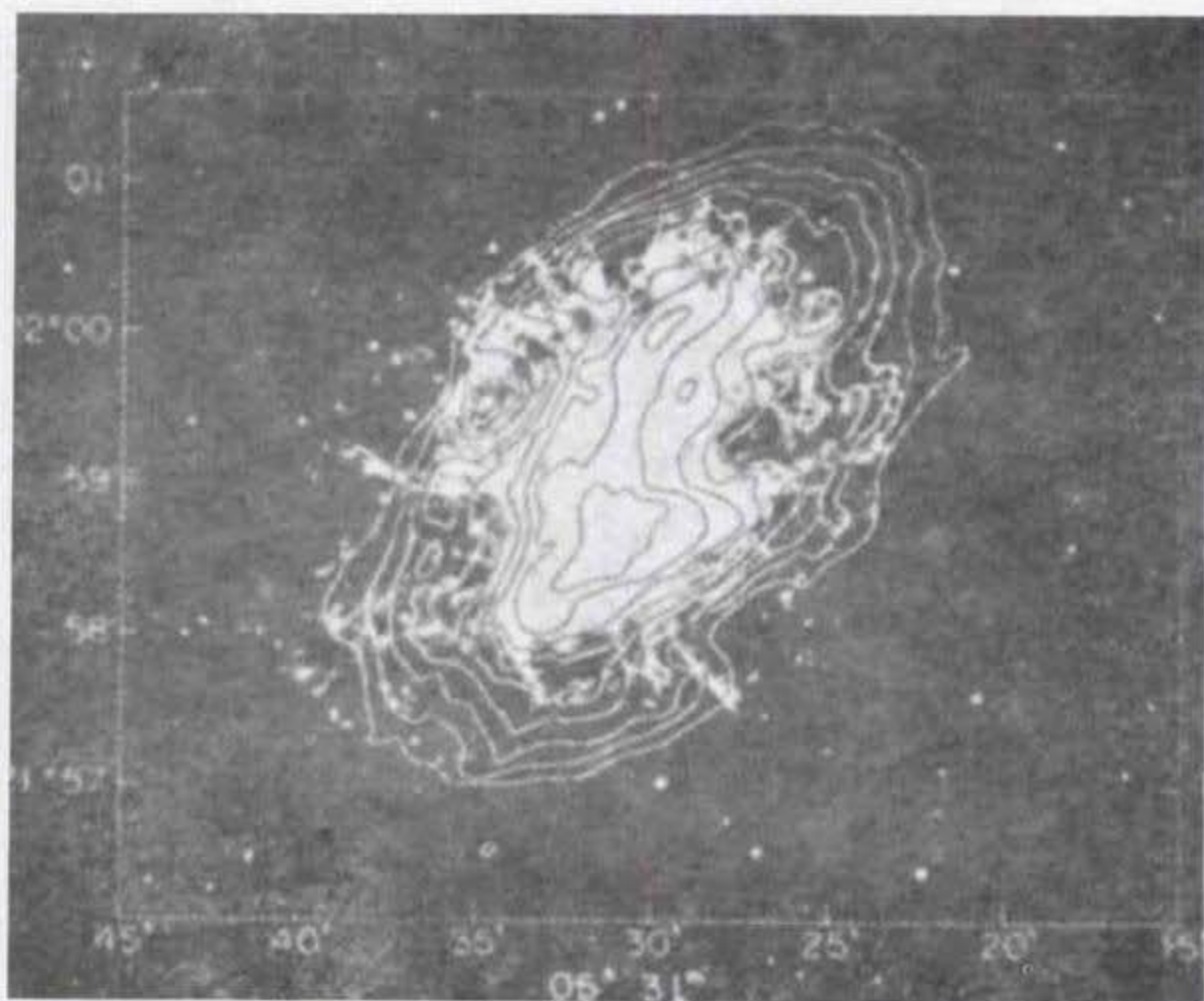


图 5.6 蟹状星云在 11 厘米波长的射电强度分布，背景是一张光学照片



发射射电波。其他的天体也有类似的现象，例如我们的太阳，“射电太阳”就比我们眼睛看到的“光学太阳”大很多。因此，在射电望远镜里是从来看不到日全食的，月球可以全部挡住“光学太阳”，却无法全部挡住“射电太阳”。

用不同的射电波段观测蟹状星云，测出的结果并不一致，图 5.7 是用 6 厘米波长的射电望远镜观测的结果。这张图的射电强度分布显得很复杂，但仔细分析，它却是和蟹状星云的纤维状结构一致的，射电强度最强的几个地方正好与亮纤维对应。

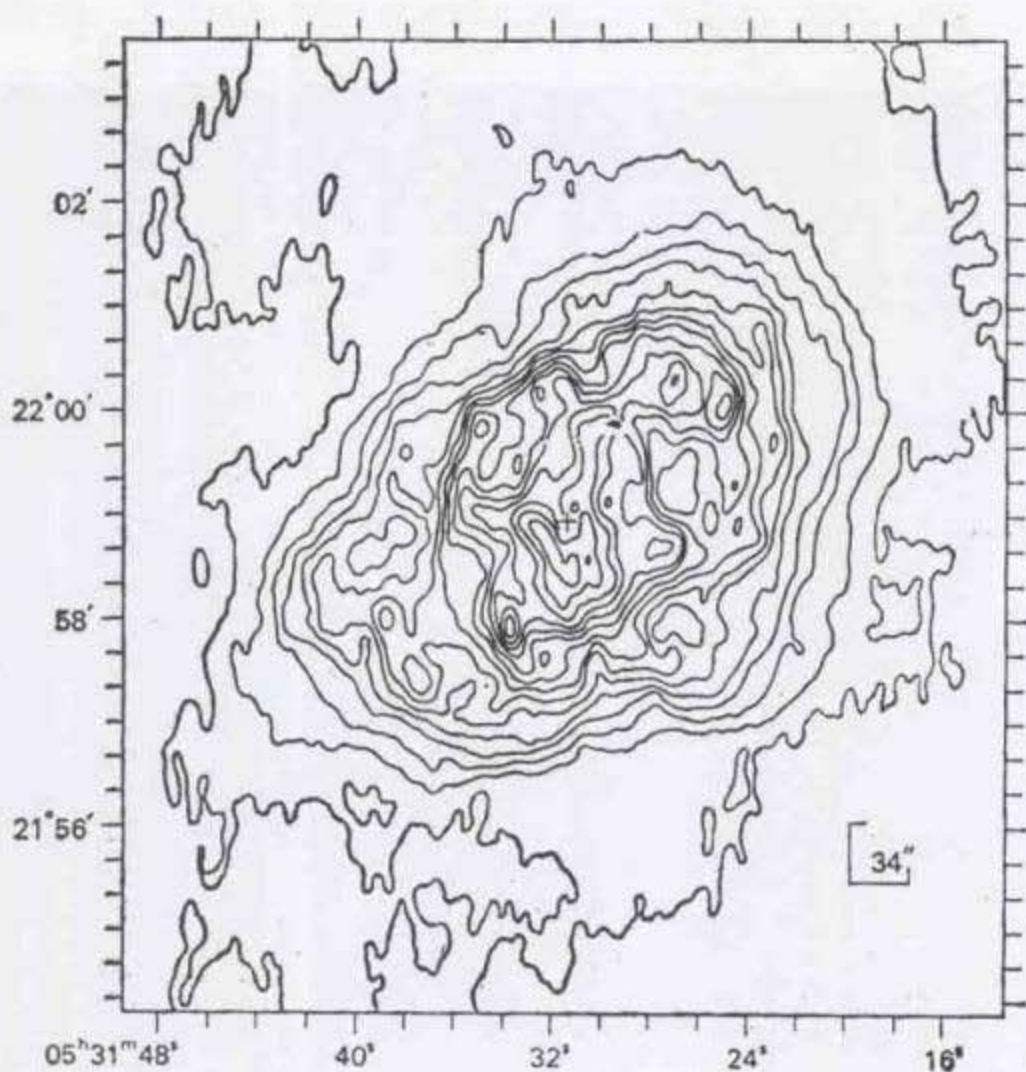


图 5.7 用 6 厘米波长观测的射电强度分布



金牛座 X-1

天体发出来的 X 射线被地球大气严密地封锁住了，这种封锁对于保护地球上的生命来说是绝对必要的，但是对于天文观测却极为不利，因此，天文学家只能到地球大气层外去观测天体的 X 射线。

早在 20 世纪 40 年代，用德国在第二次世界大战期间发展起来的 V-2 火箭对太阳的紫外线和 X 射线就进行过观测。可是，在此后很长一段时期内进展不大，只是局限于对太阳的观测。原因是理论天文学家们犯了经验主义的错误，他们根据对太阳的观测结果判断，来自太阳系之外的 X 射线肯定非常弱，无法用携带在火箭上的探测仪器探测出来。一直到 1962 年 6 月 18 日，美国天文学家才在新墨西哥州的白沙导弹场发射了一枚火箭，尝试搜寻宇宙中的 X 射线源。为了赢得发射这枚火箭的拨款，天文学家也不得不瞒天过海，声称是对月球观测。一直等到火箭飞行的最后几分钟，果然在月球的旁边发现一个很强的 X 射线源。根据判断，这个 X 射线源显然不是来自太阳系，而是从银河系中心的方向发来的。这件事使天文学家们很感兴趣，在很短时期内就发现了几十个 X 射线源。这些 X 射线源的强度和性质都出乎预料，原有的 X 射线辐射理论必须重新考虑。从此以后，又一门新的学科分支——X 射线天文学开始发展起来。

在 X 射线天文学这一崭新领域里，蟹状星云继续保持“冠军”称号。根据理论上的重新分析，蟹状星云可能是一个很强的 X 射线源，在 X 射线波段的总辐射功率，估计可达到 10^31 瓦，这在已知的天体中是罕见的。能不能从观测上予以验证呢？如果是要求光学波段的观测，这是很容易做到的，即使是射电波段，做起来也不困难。但现在要求观测的是 X 射线，困难还不仅仅在于需要把仪器带到高空，更主要的是 X 射线探测仪器的分辨能力有限，只能在某一个大方向上测量出有 X 射线的辐射，但究竟是哪一个天体发出的还无法判断出来。也真是天助成功，刚巧在 1964 年，蟹状星云处在可以被月球遮挡的位置上，也就是说，发生了月“食”天蟹。天文学家抓住这一难得的好机会，成功地进行了观测。

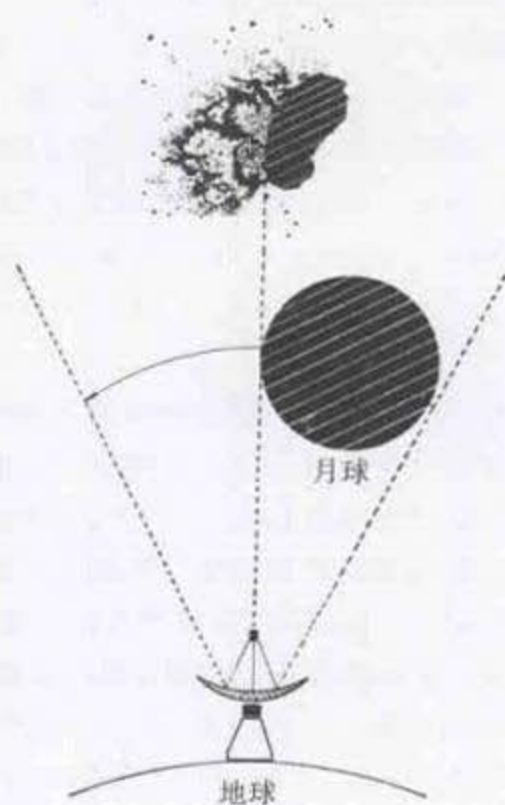
利用天体相互遮掩的机会，天文学家创造出各种巧夺天工的观测技巧。通过月球遮掩蟹状星云的过程，不仅可以判断出 X 射线是不是蟹状星云发出的，



还可以进一步判断出是从哪一个局部发出的。如图 5.8 所示，将 X 射线探测器对准蟹状星云的方向进行观测，在整个“食”的过程中把时间和位置记录准确。这样，如果月球遮住蟹状星云时，观测不到 X 射线，则说明 X 射线是由它发出的。同时，根据遮掩的部位，还可以确定是从哪一个局部位置发出的。结果完全证实了蟹状星云是一个强 X 射线源，被取名为金牛座 X-1。

1974 年再次出现月“食”天蟹的好机会，进一步做了观测。图 5.9 是一张 X 射线的发射强度图，为了便于比较，把射电强度分布和光学像都叠加在上面。由图上可以看出，X 射线和射电波不同，它只是由中间的一块区域发出的。这一点和理论估计是不一致的，最初以为只有中心星才发射 X 射线。蟹状星云 X 射线的能谱范围从 0.5~50 千电子伏特*。

图 5.8 利用月掩蟹状星云的机会可以对它的各个部位进行观测



*比 X 射线更短的短波电磁波都是属于高能光子，习惯上不再用波长来表示，而是用能量单位电子伏特 (eV) 或千电子伏特 (keV) 来表示，1keV 相当的波长是 12.4Å。



图 5.9 X 射线强度分布。虚线是 X 射线的等强度线，实线是 6 厘米射电波的等强度线，背景是光学像



后来，发射了名为“爱因斯坦”的专门卫星，对蟹状星云做了更详细的观测。从传真照片中发现一个很重要的现象，X 射线与前面谈过的“束条”结构有密切联系，“束条”区的 X 射线发射非常强。我们知道，“束条”有着剧烈的运动，而且磁场很强，正是在这种物理条件下，高能粒子沿磁力线运动才会发出强烈的 X 射线。

为了更好地观测来自宇宙的 X 射线，相继发射了不少人造卫星，其中特别值得提出的是 1970 年美国宇航局（NASA）在非洲肯尼亚发射的“乌乎鲁”卫星（图 5.10），肯尼亚地处赤道，可以充分利用地球的自转速度。这颗卫星虽然规模不大，但设计精巧，在不到四年的时间里就发现了将近 200 个 X 射线源。

图 5.10 1970 年在肯尼亚发射的“乌乎鲁”卫星，“乌乎鲁”（Uhuru）是斯瓦希里语“自由”之意



乌乎鲁的成功鼓舞了天文学家们的志气。前面提到的 1987 年发射的高能天文台 II 号卫星，又名爱因斯坦天文台，在探测器方面做了很大的改进，使探测的灵敏度和分辨能力都提高了很多。其观测对象不再局限于银河系之内，而是走到了银河系之外。视野打开之后，发现有很多河外天体，包括类星体和其他的活动星系，以及大量的星系团，都在发出很强的 X 射线辐射。也有一些特殊的恒星，同样也发射 X 射线。从此，一门新兴的天文学分支——X 射线天文学便诞生了。但是，在祝贺 X 射线天文学的成就时，不要忘了，又是我们的蟹状星云拔了头功。

γ 射线和红外线

上面介绍了蟹状星云的射电辐射和 X 射线辐射，这些都是属于“看不见



的”电磁波。如果要求在每一个“看不见的”波段上都对蟹状星云进行一番观测，任务是十分艰巨的。其实，只要选择若干重要的波段进行观测也就够了，除了射电波和 X 射线以外，重要的波段还有红外线和 γ 射线。

γ 射线是比 X 射线更短的电磁波，来自天体的 γ 射线光子能量在 1000 KeV 以上。蟹状星云继续在 γ 射线天文学领域里保持“冠军”称号，它又是第一个被证认出的 γ 射线源。

γ 射线的探测工作比之 X 射线更加困难，原因是来自宇宙空间的各种高能粒子与地球大气发生碰撞时也会产生很强的 γ 射线，而真正来自天体的 γ 射线又是很少的。探测 γ 射线的方法是一个光子一个光子地数数，可以想象，这样的探测仪器需要设计得何等精密啊！因此，一直到 1968 年才证实蟹状星云也是一个强 γ 射线源。

蟹状星云在红外线领域不再表现出“特殊才能”。最早发现天体的红外线的还是前面提到的英国天文学家赫歇尔父子。1800 年老赫歇尔就做了这样的实验，当三棱镜把太阳光分成各种颜色以后，把温度计放在红颜色的外边，那里虽然已经看不到光的颜色，可是温度照样会升高。小赫歇尔继承父亲的工作，于 1840 年做出第一架观测太阳的红外光度计。到了 20 世纪以后，红外天文学获得了很大发展，这时，天文学家自然又想到蟹状星云，可是探测工作一直到 1968 年才肯定蟹状星云也是一个红外源。原来，红外线属于一种热线，我们烤火时感到温暖，主要是红外线起作用。火炉里的温度不过几百度，红外线主要是物体在低温下发出的。对于蟹状星云来说，温度上万度，当然不会在红外线上表现出“才能”来。

这里，顺便补充一点，地球大气除了为电磁波打开两个“窗口”以外，还为红外线开了一些“窗缝”，在整个红外线区域（波长从 1 微米到 1 毫米），地球大气并不是“严密封锁”的，而是断断续续地允许它们透过一些。这样的安排也许是“天赐”，以便让人类多得到一些温暖。

不寻常的辐射

人们常说，观测是天文学家的首要任务，这话当然正确，没有观测就等于无米之炊。不过，当一堆观测资料摆在面前的时候，分析和判断往往就显得更为重要了，善于思索的科学家正是在这时候表现出才能来的。



我们已经探测了蟹状星云的几乎所有重要电磁波段的辐射，图 5.11 将迄今最新的观测成果做了一个总结。上面一条是蟹状星云的辐射强度曲线，下面一条是蟹状星云中心星的辐射强度曲线。关于中心星的情况，下一节还要专门讨论，这里暂不管它。图中的每一个点代表一个实际观测数据，缺少观测数据的地方用虚线连了起来。这是一条连续谱的强度分布曲线，根据这种曲线可以定出天体的温度。一般情况下，只需要很小一段连续谱就够了。现在，摆在我们面前的几乎是全部的电磁波谱，照理说，温度应该测定得更准确了。但是，实际情况并非如此，因为它和任何一条已知的“标准”曲线都符合不起来。

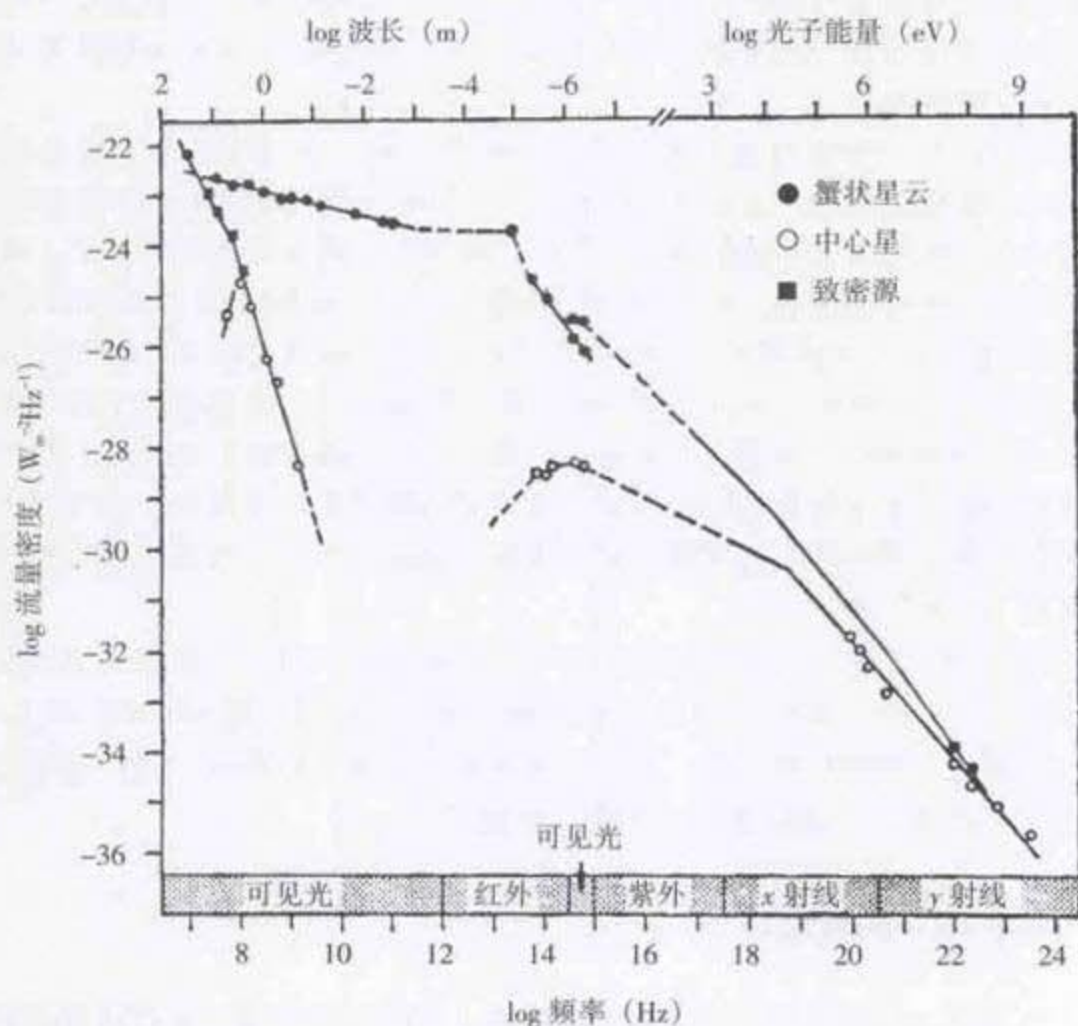


图 5.11 蟹状星云及其中心星在各个电磁波段的辐射强度。纵坐标辐射强度采用的是流量密度的对数，单位是瓦/平方米·赫兹，横坐标是频率的对数

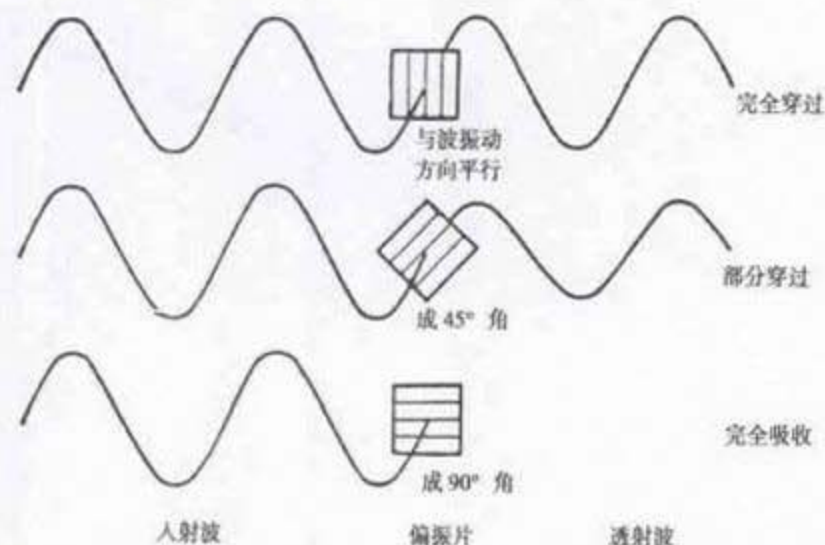


这个“难题”早在 50 年代初就被提出来了，当时已经证认出蟹状星云是个强射电源，并在射电波段得到相当好的观测数据。天文学家照例采用通常的方法计算它的温度。结果发现，它的温度居然高达 50 万度，这么高的温度是令人难以相信的。1953 年，苏联天文学家史克洛夫斯基提出，蟹状星云的电磁辐射非比寻常，它是由一种特殊辐射机制产生的，这种辐射机制叫做“同步加速辐射”。

史克洛夫斯基预言，如果蟹状星云是按他提出的方式发射电磁波，那么就必须有磁场。果然不出一年，他的预言就被观测所证实了。观测磁场所用的方法是我们在前面提到的偏振方法。我们知道，光是由光子组成，光子是以波动方式向前传播，一边向前传播，一边在垂直于传播的方向上振动。普通光的这种振动是均匀的，即在各个方向都有振动，这样的光叫做自然光。如果光的振动方向不均匀，在某个方向的振动强，而在其他的方向振动弱，这样的光便叫做偏振光。当有磁场存在时，光会产生偏振。因此，观测蟹状星云发来的光是不是偏振的，偏振的强度有多大，便可以确定蟹状星云有无磁场存在和磁场的强弱。观测偏振光的方法是在照相底板前面加一块偏振滤光片，它只允许某一个振动方向的光通过。如图 5.12 所示，从左边来的光是一束上下方向振动的偏振光，只要把偏振滤光片摆在不同方向上检验三次，就可以完全测出偏振光的性质。用这种方法对蟹状星云拍照，发现它发出的光的确是偏振的，根据偏振

图 5.12 偏振光通过偏振滤光片的情形

上——光的偏振方向和偏振片平行，光全部通过
中——成一定角度，部分通过
下——成 90° 角，全部吸收

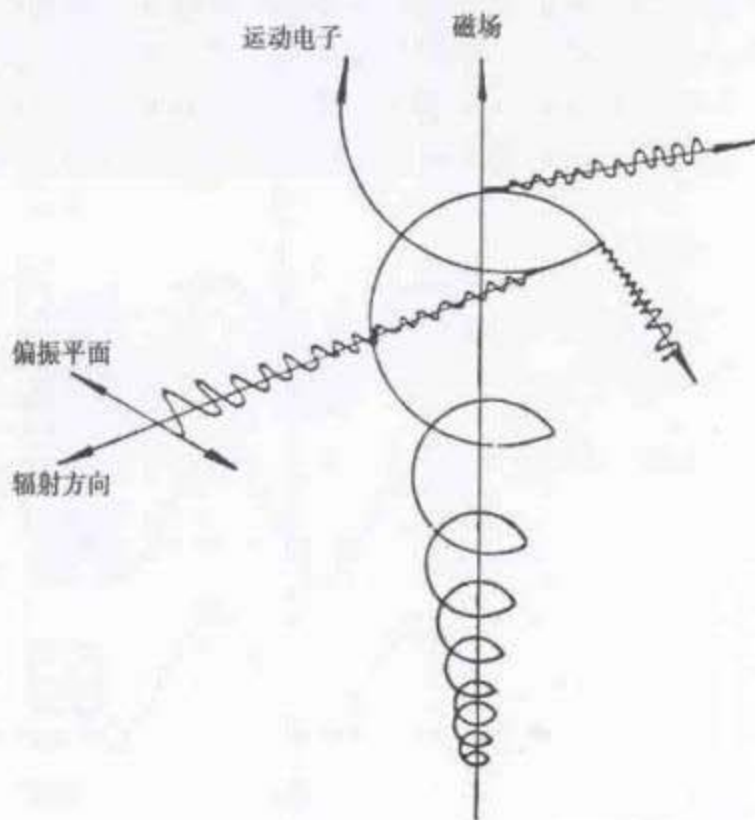




强度求出蟹状星云的平均磁场强度（注意不包括中心星）大约是 10^{-4} 高斯，即万分之一高斯。后来，在射电波段也进行了偏振观测，得到了同样结果。地球表面的平均磁场强度是十分之一高斯，蟹状星云的磁场虽然比地球弱很多，但比银河系星际磁场（ 10^{-6} 高斯）却高出 100 倍。正是靠这万分之一高斯的磁场改变了整个蟹状星云电磁辐射的面貌。

如果一个物体要发射电磁波是靠把物体的温度提高，那么，这种辐射方式叫做热辐射。热辐射发出的电磁波服从一定的规律，电磁波的强度分布曲线和温度的高低密切相关。后来发现，除了这种方式以外，还有各种其他方式也可产生电磁波辐射，这些方式统称为非热辐射。在非热辐射中，“同步加速辐射”占有重要的地位。同步加速辐射是速度非常高（高到接近光速）的电子在磁场中运动时产生的。电子是带电的，带电的质点在磁场中沿着磁力线运动，不过电子也很“调皮”，并不老老实实地走直线，而是一边走一边打圈圈。因此，电子实际走的轨道是一个螺旋线（图 5.13）。电子一边走，一边发射电磁波。这种电磁波的特点之一是具有很强的偏振性，偏振方向与磁力线的方向相

图 5.13 接近光速的电子沿磁力线螺旋前进，产生同步加速辐射。辐射沿电子运动的切线方向，具有很强的偏振性





互垂直。当初，史克洛夫斯基就是根据这一点预言蟹状星云应该有磁场存在，并且可以用偏振方法测量出来。同步加速辐射的强度取决于电子的运动速度和磁场的强度，电子的运动速度愈快，磁场的强度愈强，辐射的功率也就愈大。根据同步加速辐射理论计算出来的结果与观测结果进行比较，发现它们之间符合得相当好。因此，这种理论解释得到了一致公认。

同步加速辐射不仅“天上”有，“地上”也有，首先是从实验室里发现的。在基本粒子研究中，常用同步加速器加速粒子，当粒子被加速到接近光速时，就会产生这种辐射，因此，同步加速辐射又叫做同步加速器辐射。

目前认为，蟹状星云在射电波、可见光和X射线的辐射都是由同步加速辐射产生的，只有 γ 射线的辐射可能是个例外。 γ 射线光子的能量最高，每个光子的能量都在 10^6 电子伏特以上。产生这么高能量的光子，看来只有靠“接力”方式，已经产生出的射电光子或X射线光子遇到高能量电子，电子把自己能量的一部分“施舍”给光子。这些光子获得足够的能量以后，“摇身一变”，就成了 γ 射线光子。这个过程在物理学中叫做“逆康普顿散射”，也是非热辐射的一种。

我们把蟹状星云在所有波段上的辐射加起来，得出它的总辐射功率为 10^{38} 尔格/秒，相当于近十万个太阳！太阳辐射能量依靠的是太阳内部的热核反应。蟹状星云是一团稀薄的气体，它又是靠谁来提供能量呢？同步加速辐射也好，逆康普顿散射也好，都需要大批运动速度接近光速的电子。如此高速的电子能量极高，这些高能电子又是从哪里来的呢？来源只有一个，那就是埋藏在天蟹中的那颗“明珠”。



6 天蟹中发现一颗明珠

美丽的珍珠埋藏在珠贝里，如果不是细心的渔夫把珠贝打开，谁也不会相信这些闪闪发光的珠宝竟藏在这些小小的壳壳里。天蟹看上去是那么蓬松，谁又会想到它这里也同样埋藏着一颗“明珠”呢？实际上，我们已经多次提到，蟹状星云的中间有一颗“中心星”，它处在当年超新星爆发时的位置上，并且一再暗示，蟹状星云里的许多现象都与它有关。

我们一直把这颗星叫做“中心星”，其实这个叫法并不确切，为了避免“喧宾夺主”，才起了这样一个名字，它的真正名称应该是“脉冲星”。自从发现这颗脉冲星后，蟹状星云就如同皇冠上增添了一颗价值连城的明珠，陡然间身价百倍。明珠只是把皇冠装饰得更美，而这颗脉冲星还充当着整个天蟹赖以生存的“心脏”。

第一个诺贝尔奖

似乎有一点不公平，天文学家成天起早贪黑地工作，可是，长期以来没有人得到过科学上的最高奖赏——诺贝尔奖。诺贝尔奖创建于1901年，到今天已经超过百年。创建之初，没有单为天文学科设奖，后来将天文学归并到物理学科中去了。

人们以为天文学家只会在那里天天观星察月，不会有什么创建。诺贝尔奖历经70年，天文学家仍无人问津。到了20世纪60年代，情况开始发生了变化。天文学家们的辛勤耕耘，终于开始结果。他们不再局限于多发现几颗星星



或几个河外星系，而是接连不断地发现“新大陆”。这些“新大陆”就像当年的北美洲一样，吸引着科学家们竞相前来开发。在这种情况下，诺贝尔奖金委员会不得不考虑天文学家的成就，终于在1974年破天荒地将诺贝尔奖授予了一位真正的天文学家——脉冲星的发现者休伊什。

我们把休伊什作为第一个获得诺贝尔奖的天文学家，还需要加一点说明。在休伊什之前，与天文有关的诺贝尔奖的确还有几项。首先是美国物理学家贝特，贝特在核物理方面有着广泛而深入的研究，曾被誉为晶体场理论之父。他在上个世纪的30年代便对恒星内部的核反应和辐射机制做了深入的探讨，提出了包括太阳在内的恒星的产能机制是由氢原子核聚变为氦原子核，通过“碳-氮-氧循环”来实现，这个循环过程也被称为贝特循环。贝特由于在核物理方面的成就而获得1967年度的诺贝尔物理奖。

另一位获奖者是瑞典物理学家阿尔文。阿尔文是等离子体物理的创始人之一，曾提出在等离子体中存在着特殊的磁流体动力波，后来被称为阿尔文波。阿尔文对宇宙中的等离子体现象做了广泛的研究，写出“宇宙电动力学”专著，并曾经提出过太阳系的起源模型。阿尔文获得了1970年度的诺贝尔物理奖。

在早期获奖者中与天文有关的还有美国物理学家汤斯。汤斯是激光器的发明者之一。他在量子电子学领域做了许多开拓性的工作。汤斯兴趣广泛，对星际分子的辐射机制有着重要的贡献。早在1964年，汤斯便同另外2位物理学家主要因为创造激光振荡和放大器而共同获得当年的诺贝尔奖。

上述几位诺贝尔物理奖获得者，他们的研究工作虽然和天文学都有联系，但总是算不上纯正的天文学研究课题。英国天文学家休伊什则不然，他一登上舞台，便是从研究星星的“眨眼”开始的。

如果仔细观察天上的星星，会发现星星并不是一个个宁静的亮点，而是不停地在那里闪烁，好像是在“眨眼”。实际上，“眨眼”的不是天上的星，而是地球大气。即使是万里无云的天气，大气也仍然不停地在那里“抖动”。由于大气抖动的结果，星星看起来好像在闪烁。大气的这种抖动现象是天文学家最讨厌的，它会妨碍对天体的观测，使星像变得模糊不清。为了减小大气的影响，寻找一个良好的天气环境，天文学家只好把天文台建在高山上。但是，事物都有两重性，后来发现，我们反过来可以利用星光的闪烁现象研究地球大气的结构。做这类研究，使用“射电星”的效果最好，用射电望远镜观测射电点



源的闪烁现象，可以有效地研究地球高层大气的结构。

20 世纪 60 年代初，天文学家进一步利用这种现象去研究从太阳上吹来的“风”。整个太阳是一团火海，除了发射耀眼的光以外，还在不停地向四面八方吹着“太阳风”。太阳风是由太阳喷出的高速带电粒子流组成，吹起来十分强劲。可以一直吹到地球上。整个太阳系空间都要受到太阳风的影响。当射电波穿过太阳风时，由于太阳风的影响，同样会使射电源的讯号呈现闪烁现象。观测射电源的闪烁，就可以了解太阳风的运动和构造，这比派宇宙飞船去进行观测要简便多了。因此，这种方法成功以后，很快就被广泛采用。

在太阳系的行星和行星之间，还存在着其他的行星际介质。在靠近太阳的地方，还有太阳高层大气的影响。这些都可以通过射电源的闪烁现象去研究。

经过几年的对射电源闪烁现象的观测，休伊什发现并不是所有的射电源都有明显的闪烁，而只有那些小角度的射电源，其射电强度的起伏才显著。所谓小角度的射电源，就是指的射电星。这些射电源在天空中的张角不到 1 个角秒，和普通的星星一样，但它们都有着很强的射电辐射，因此被称为射电星。就在休伊什和他领导的课题组卖力地工作时，1963 年美国天文学家施米特发现了类星体。最初发现的几颗类星体全都是射电星。类星体的发现鼓舞了休伊什。为什么不可以用闪烁方法去发现新的类星体呢？此外，他们还发现，长波波段的闪烁现象表现得似乎更为明显。所有这些踏踏实实地累计研究成果，预示着休伊什会有重大的突破，只要他不停地在那里观测。

1967 年，为了提高观测能力，英国剑桥大学专门设计了一架射电望远镜从事这项观测（图 6.1）。这架射电望远镜设计得很别致，由 2084 个全波偶极天线组成，整个天线摆成一个长方形矩阵，南北长 45 米，东西长 470 米，占地面积 2 万多平方米。工作频率 81.5 MHz，相当于波长 3.7 米。太阳风造成的闪烁现象有一个特点，闪烁频率特别快，只有秒的量级。因此，用于这种研究的射电望远镜对时间的精确度要求特别高，拿这架望远镜来说，它的时间常数为 0.1 秒，也就是说，在 0.1 秒时间内讯号强度发生变化，仪器都可以准确地记录下来。

重要的发现往往不是使用最先进的仪器，也往往不是有名的“大人物”做出来的。休伊什的射电望远镜的天线装置，不像是一架 60 年代的富丽堂皇的大型设备。由于“财源”不足，设计人休伊什不得不在记录仪器部分作了节省，免用了计算机，仍旧采用老式的纸带记录方法。这样，每天观测下来的纸



图 6.1 发现第一颗脉冲星的射电望远镜。作者 1981 年在这里访问。这些天线就像一排排晾衣网架，羊群还可以在下边吃草

带长达 30 米，分析处理资料的任务十分艰巨。这项任务落到一位女研究生的身上，她的名字叫乔丝琳·贝尔。年仅 24 岁的贝尔工作认真细心，望远镜于同年 7 月投入观测，到 8 月底就从中发现“奥秘”。她注意到半夜时仍然有一个射电源有闪烁现象，这是很奇怪的，因为半夜时太阳是在地球背面的方向，射电源离开太阳风吹过的区域很远，这种闪烁现象再不可能由太阳风引起的。贝尔将这个发现告诉了她的导师休伊什。1967 年 11 月 28 日，他们用快速记录仪重新对这个“奇怪的”天体做了观测。果然，发现它发出的射电信号非常有规律，每隔 1.337 秒跳动一次，用射电语言来说，就是每隔 1.337 秒记录到一次脉冲讯号。这么有规律的讯号，会不会是其他星球上的“高级人类”发来的“密码电报”呢？这些高级人类被称为宇宙中的“小绿人”。但是，经过分析，在这里找不出任何电码的规律。当更多的类似天体发现以后，这种想法自然就完全打消了。新发现激励着他们更加紧张地工作，在短短的几周时间里，又接



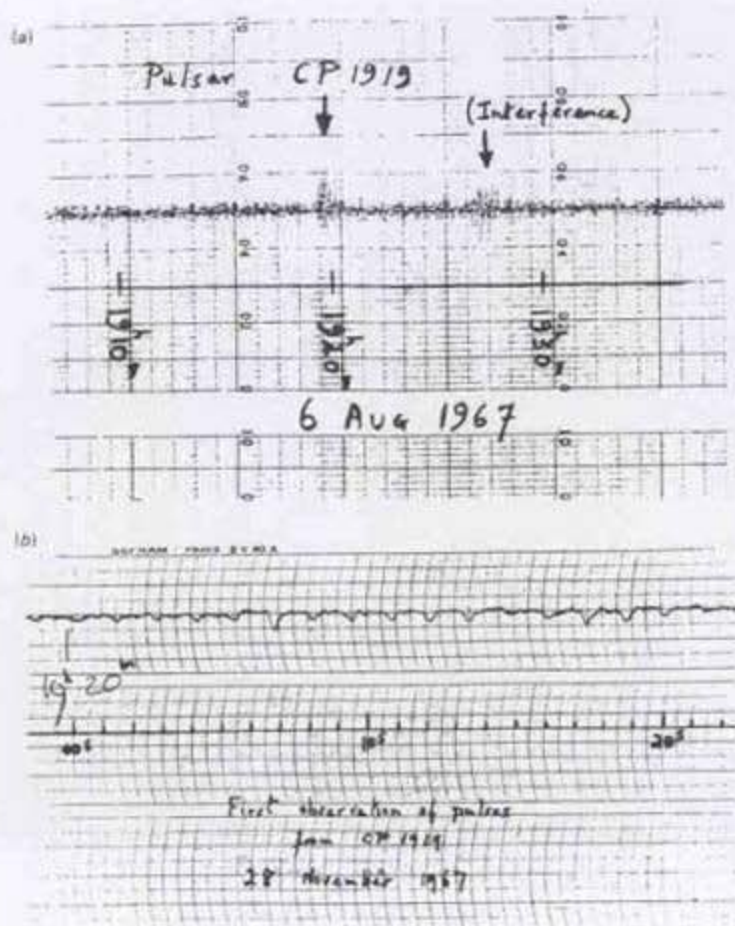
连发现三个类似天体，其中有两个天体是贝尔从以前的观测记录中发现的。1968年初，贝尔重新检查了长达5000米的记录纸带。他们断定，这是一种崭新的天体，取名为“脉冲星”。1968年2月24日在英国的《自然》杂志上公布了这一发现。脉冲星的消息一宣布，世界上几乎所有的大型射电望远镜一齐指向狐狸座的这个天体。观测报告和理论分析像雪片似的飞到各天文杂志社。1968年底，时间还不到一年，有关脉冲星的文章就发表了100多篇，发现的脉冲星数目达到23个。

据说，休伊什的风格不高。当初在世界性刊物《自然》上公布他们的发现时，仅仅公布了第一颗脉冲星资料，其他三颗脉冲星在天空中的位置数据被“保密”起来。许多国家的天文学家对他们的做法提出抗议，直到4月13日，他才在《自然》杂志上将这三颗星的位置和周期公布于世。

到了1974年，脉冲星的“真相”基本上“大白”，它的确与以往任何一种星体都不相同。脉冲星的发现，不仅为天文学打开了新领域，而且对近代物理学也产生了很大震动，一门新的跨学科理论——密物质物理学应运而生。所有这一切促使瑞典诺贝尔奖金委员会将1974年度的诺贝尔奖金授予脉冲星的发现者。遗憾的是，获奖者仅仅是天文学教授休伊什，那位年轻的研究生被撇在一边。不少人对这件事提出异议，为此，休伊什本人在得奖后做了一番表白，一方面承认他的学生贝尔是脉冲星的第一个发现者，但另一方面又强调整个发现工作是在他的指导下完成的。

诚实和勤奋永远是人们尊重的美德，虽然贝尔没有分享诺贝尔奖的荣誉，但人们在提到脉冲星时总是忘不了她的功劳。乔丝琳·贝尔当时只有24岁，她是休伊什的研究生，毕业于英国格拉斯哥大学物理系。她在大学期间就喜欢上了天文学，立志做一名天文学家。据说她首先申请的是到英国著名的射电天文台焦德雷尔班克去工作，由于工作人员把她的申请书弄丢了，她才改去剑桥大学攻读研究生。后来焦德雷尔班克天文台台长批评了这位工作人员，不过他却辩解说：“要不是我把她的申请信丢了，脉冲星到现在还没有发现呢。”贝尔跟着休伊什读书时，休伊什正忙于制造上述那架大的射电望远镜。他们完全自己动手，花了几年的时间才把望远镜建成。由于望远镜的初始目标是观测星星的闪烁，每一颗星星都要重复观测许多次。没有献身科学的精神和兢兢业业的工作作风是绝对不会在一堆堆的纸带中找出全新的信息的。事实上，贝尔在望远

图 6.2 发现第一颗脉冲星
(PSR 1919+21) 的记录纸带，这颗脉冲星位于狐狸座
(上) 原始记录；(下)
去掉噪音后的规则脉冲讯号



镜投入工作不到两个月就发现了“奇怪的”讯号。与此同时，还有一架大型的射电望远镜，早就记录到了脉冲星的脉动讯号，这就是焦德雷尔班克天文台的250英尺射电望远镜。脉冲星 PSR 0329+54 几次走进他们记录仪器中，可惜无人问津而被溜走了。

贝尔不仅在工作中出色，在人品方面也很谦虚。她在谈到脉冲星的发现时说：“我在这儿搞一项新的技术来拿博士学位，可一帮傻乎乎的小绿人却选择了我的天线和频率来同我们通讯。”发现脉冲星的第二年，贝尔获得博士学位。她的博士论文的主题仍然是星体闪烁，仅在附录中提到脉冲星的发现。尽管如此，贝尔献身科学的忘我和细心的工作精神，永远被人们称颂。1977年，研究脉冲星的权威曼彻斯特和泰勒在他们的专著“脉冲星”一书的扉页上这样写道：“献给乔丝琳·贝尔博士，没有她的聪明和百折不挠，我们是分享不到研究脉冲星的快乐的。”



图 6.3 休伊什和他的学生贝尔

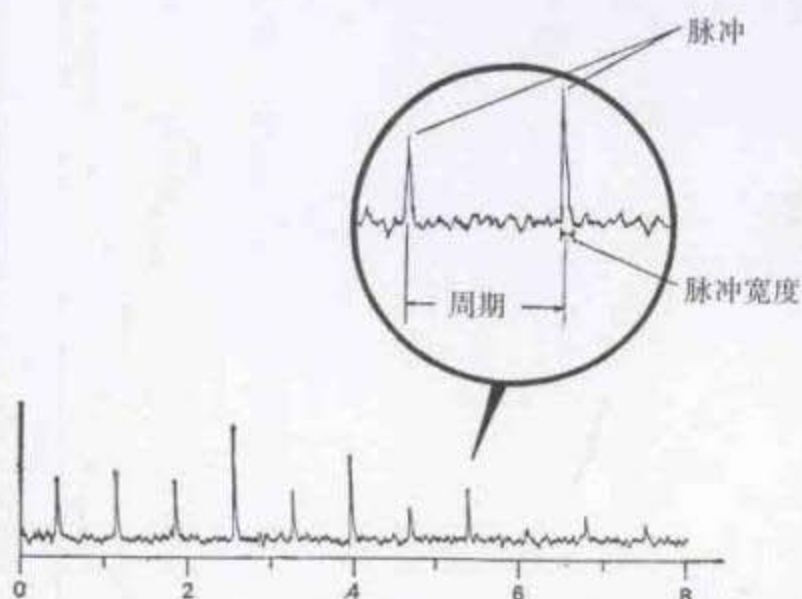
脉冲星的 ABC

在深入讨论蟹状星云中的“明珠”以前，我们需要对脉冲星的基本知识有个了解。

最初，脉冲星被叫做“快速脉冲射电源”，它反映了脉冲星的两个最基本的特点：第一，脉冲星发射的是射电波；第二，这种射电波表现为一个一个的脉冲，两个脉冲之间的时间间隔很短，一般只有 1 秒钟左右。不久，天文学家认识到这种射电源与一般的射电源很不相同，由于它发的信号有脉冲，就像人的脉搏一样，于是将英文的脉搏 Pulse 加后缀成为 Pulsar 来命名，中文译名为脉冲星。

图 6.4 是一颗典型的脉冲星的观测记录。两次脉冲的时间间隔叫做周期，一次脉冲的持续时间叫做脉冲宽度。如果把脉冲进一步加以放大，还会发现不

图 6.4 脉冲星 PSR 0329+54 的脉冲曲线。其脉冲周期为 0.174 秒，观测频率为 410 兆赫



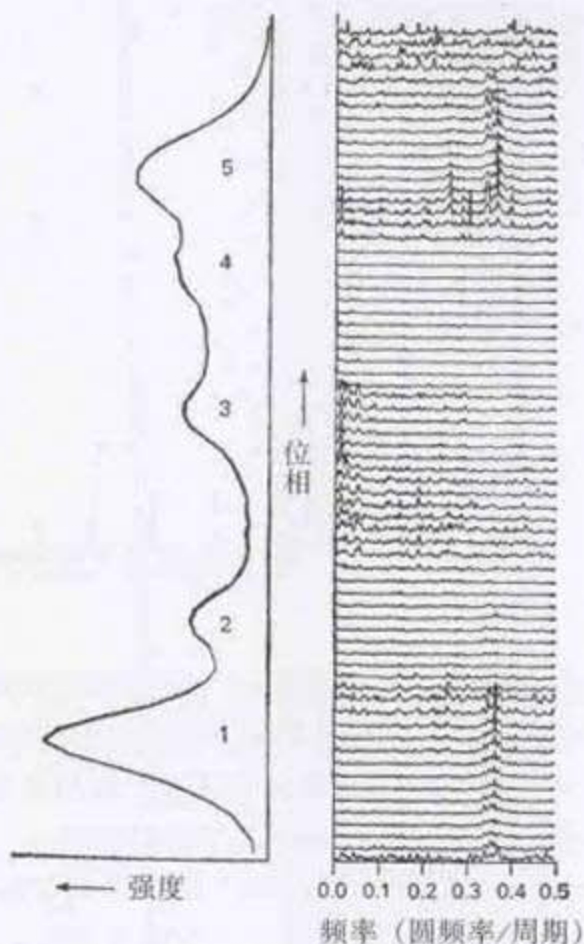
同脉冲星的脉冲形状是不同的，根据脉冲曲线的形状可以分为单峰脉冲，双峰脉冲……有的脉冲星在两个脉冲之间还出现小的脉冲，这种小脉冲称为“次脉冲”或“中介脉冲”，而原来的脉冲也就相应地称为“主脉冲”。当讨论脉冲形状时，也常常把脉冲曲线称作“脉冲轮廓”。

一条脉冲轮廓曲线是根据多次脉冲记录取平均以后得到的。图 6.5 是一颗轮廓曲线比较复杂的脉冲星，在主脉冲之后还有许多脉冲起伏。在图右的实际观测记录中，并不是在每个周期里都能显示出来，图左的标准脉冲轮廓曲线是这些观测值的平均。

最初，脉冲星是以发现的天文台来命名的，在天文台名字的后面加上脉冲星的坐标位置，脉冲星慢慢地发现多了，这种命名法就显得太混乱。后来，统一采用 PSR（脉冲星 Pulsar 的缩写），后面加上坐标位置。例如，第一颗发现的脉冲星是 PSR 1919+21，前四位数代表赤经××时××分，后两位数代表赤纬××度，因此，1919+21 表示脉冲星的坐标：赤经 19^h19^m，赤纬 +21°。如果赤纬前是“-”号，则表示是南天的脉冲星。蟹状星云脉冲星的代号是 PSR 0531+21。

日常生活里都离不开钟表，谁都希望自己的钟表能够走得准确些，但实际上快慢一两分钟关系并不大。科学上对时间精度的要求可就不同了，宇宙飞船在返航途中时间偏差一点，就可能永远回不到地球上来。为了适应近代科学的需要，科学家们不断地研制出各种精密的钟表来，石英钟、原子钟、分子

图 6.5 脉冲星 PSR 1237+21 的脉冲轮廓曲线，右图是一次次的实测记录，左图是这些讯号的平均轮廓



钟……可是，谁也没有想到，天上已经为我们准备好现成的精密钟表，这就是脉冲星。脉冲星的脉冲周期十分准确，拿第一颗脉冲星 PSR 1919+21 来说，它的周期是 1.33730119227 秒，准确到小数点后面 11 位，也就是 10^{-11} 秒。如果用它作为钟表来计时，真可以和地面上最先进的钟表媲美。

所有的脉冲星，个个周期都是这样准确，有的甚至达到 10^{-14} 秒！将来，人类到宇宙中去旅行，完全可以指望用这些脉冲星来校准时间。

脉冲星的周期都很短，一般只有 1 秒左右，最短的可以到百分之几秒，最长的也不过几秒。那么，脉冲星的周期是用什么方法测量出来的呢？为了提高测量精度，天文学家采用逐次逼近的方法。第一次测量时，先测出一个大概的周期值，一般说，一次测量的精确度可以达到 0.0001 秒。第二次，再测量相距很远的两个脉冲之间的时间间隔，根据第一次测出的周期的长短，可以估计出这两个脉冲之间一共有多少个周期，用这个周期数去除这一段时间间隔，便得



到一个周期的长短。如果第二次得到的周期值不够理想，还可以用新的周期值进行第三次测量。最后，任意两个脉冲之间的时间间隔应该正好等于一个整数乘上一个周期的大小。用这种方法可以把测量精度提得很高。不仅可以把周期本身测准，甚至当周期长度出现哪怕是极其微小的变化，也能被发现出来。

天蟹中的明珠

脉冲星发现不久，在我们的蟹状星云里也找到一颗脉冲星。

开始，美国的两位射电天文学家一下子从蟹状星云里找到了两颗脉冲星：NP 0527 和 NP 0532。NP 是美国国立射电天文台脉冲星的缩写，表示是由该天文台发现的脉冲星，这是早期的命名。他们以为这两颗脉冲星都和蟹状星云有关。后来，用设在波多黎各的阿尔西巴山谷中的口径为 305 米的射电望远镜进行观测，发现其中的一颗——后来取名作 PSR 0525+21 是“混进”来的，真正属于蟹状星云的只是 PSR 0531+21。经过推算，PSR 0525+21 的年龄在几十万年以上，从结构上看也和蟹状星云毫无联系，它们之所以处在一起，仅仅是由于投影的缘故。这种情况是经常发生的，比如，天空中有很多双星，看上去两颗星在一起，但实际上相距甚远，毫无物理联系。

1968 年 11 月 9 日，在阿尔西巴准确地测量出蟹状星云脉冲星的周期是 0.03309756505419 秒，精确度达到小数点后面 14 位。像这样每次都书写一长串数字，也实在太不方便，一般无特殊需要，只书写小数点后面 3 位数字也就够了。对于短周期的脉冲星，也常用毫秒 (ms) 来表示，故蟹状星云脉冲星的周期大约是 33 毫秒。

天蟹中的“明珠”发现以后，全世界天文学家的注意力都不约而同地转向它。在此之前，人们对蟹状星云的物理本质已经有了相当充分的了解，还知道了它的“来历”。对一个天体来说，能够掌握这么多的“背景知识”，几乎是绝无仅有的。世界上各个大型射电望远镜使用的观测波长并不相同，往往相差很远，有毫米波的，也有厘米波和米波的。对于一般的天象来说，在毫米波段上能观测到的，在厘米波段上就不一定观测得到。可是，蟹状星云脉冲星却表现得与众不同，无论用什么波段对它观测，都可以提供一条满意的脉冲曲线（图 6.6）。这些脉冲曲线的周期虽然相同，但脉冲轮廓却是彼此各异。这些脉冲轮廓的“差异”正好是天文学家在书写论文时可以发挥的地方。只要翻开国外有

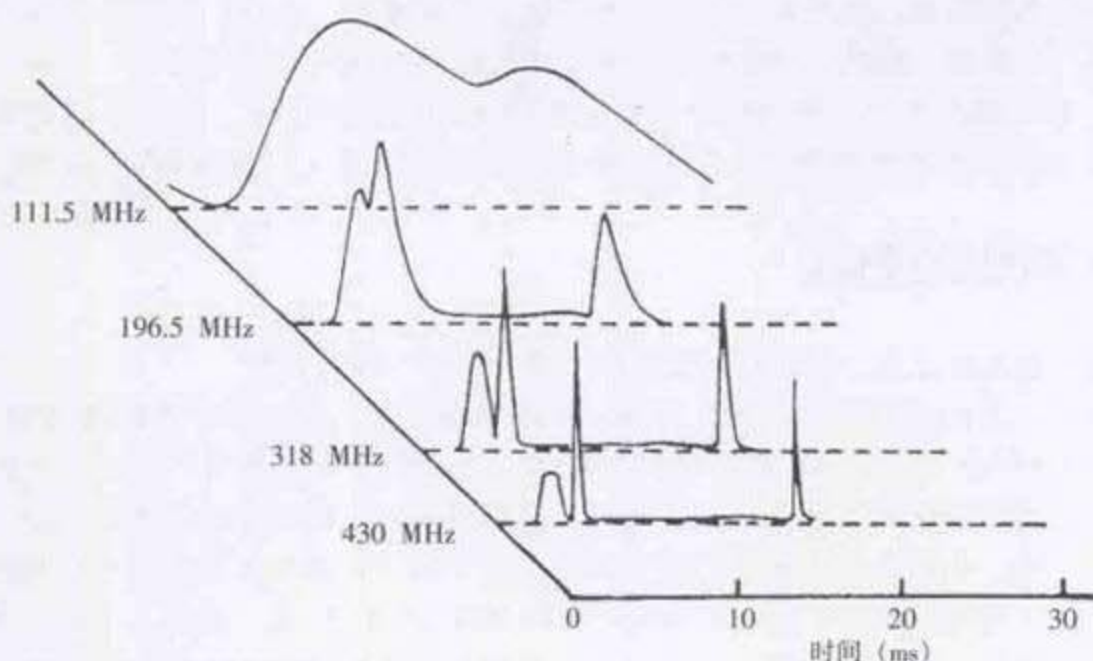


图 6.6 蟹状星云脉冲星在不同射电波段上的脉冲曲线

关脉冲星的文献目录，“Crab”的名字几乎到处可见。

脉冲星是不是只在射电波段才有呢？当脉冲星的消息发表以后，从事光学观测的天文学家立即将光学望远镜指向发现脉冲星的地方。最早的搜寻目标自然是第一颗脉冲星 PSR 1919+21。令人遗憾的是，尽管动用全世界最好的光学望远镜，拍出的照片上仍然空荡无物，似乎脉冲星是专门送给射电天文学家的“礼物”。

当然，要想在光学望远镜里发现脉冲星，采用普通的照相方法是绝对不行的。照一张恒星照片，起码要几十分钟的露光时间，而脉冲星的周期只有几秒，即使把脉冲星照到底片上，也检查不出它的光度是否有变化。为此，要采用所谓的“快速光度计”进行观测。快速光度计的原理有些像电视机一样，把弱的光讯号变为电讯号，再将电讯号加以放大，放大了的电讯号就可以记录下来。或者，把电讯号再转换为光讯号，成像在电视荧光屏上，对着荧光屏拍照，同样也可以拍出清晰的星像来。

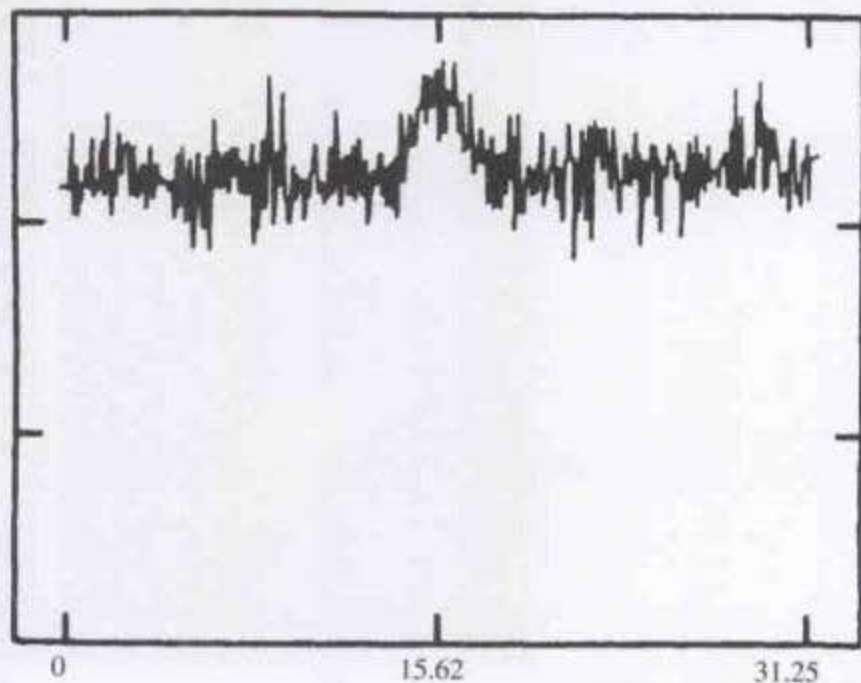
美国的三位天文学家库克、迪斯尼和泰勒专门设计了一台由电子计算机控制的快速光度计装置，安装在亚利桑那州斯提瓦尔德天文台一架口径 90 厘米的望远镜上，对准蟹状星云脉冲星的位置进行探测。他们连续观测了四个夜晚，四个夜晚的天气都非常好，这对他们来说是很幸运的了。因为在世界上，



每架大型望远镜的观测时间表都是预先安排好的，轮到哪位天文学家观测，如果赶上天气不好，只好自认倒霉。这次观测尽管天气帮了忙，但他们却什么也没有发现。正当他们扫兴地准备下山的时候，设在山下的办公室通知他们，下一位望远镜的使用者的夫人生病，他们可以继续观测两个晚上。这一意外的“赏赐”又重新鼓起了他们的勇气，他们决定对接收仪器全面检查一遍。果然，发现计算机的计算程序中出了差错，把地球运动引起的频率改正讯号加反了。他们犯了一个简单的初等数学错误！原来，从地球上观测脉冲星时，由于脉冲星的脉冲周期非常短，地球运动的影响必须加以考虑。我们知道，地球既有自转，又有公转，由于多普勒效应的影响^{*}，地球上接收到的讯号的频率会发生微小的变化，这种变化对于周期只有几十毫秒的脉冲星来说，是必须加以考虑的。他们把改正量加错了，自然任何脉冲现象都观测不到了。

仪器修好以后，天气又不作美，他们焦急地守候在望远镜旁，耐心地等待着天空放晴。到了晚上9点钟，蟹状星云终于从云缝里露头了。过了10分钟，记录仪器的指针画出“跳动”的讯号（图6.7）。成功了！这一消息立刻用各种通讯工具从天文台传向全世界。国际天文学会随即发了特别快报：

图6.7 第一次观测到的蟹状星云脉冲星的光学脉冲讯号，这是由大约5000个脉冲叠加在一起的

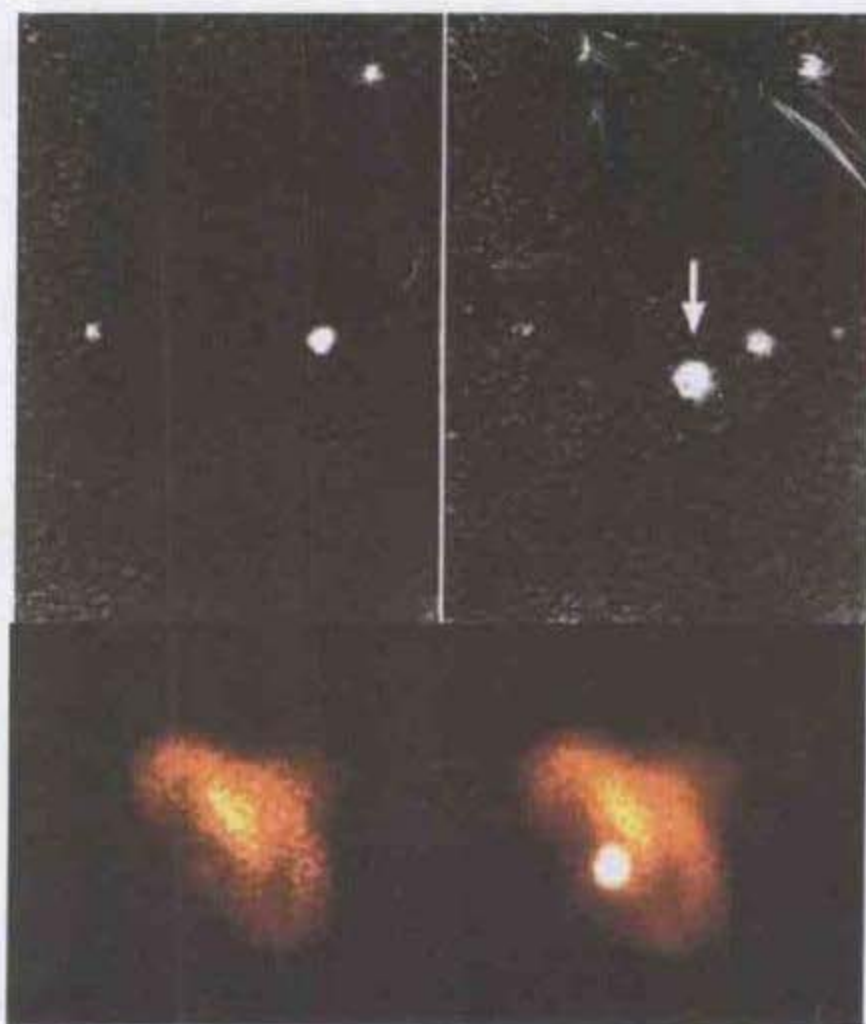


^{*}前面介绍多普勒效应是以光源运动为准，当观测者本身相对于光源运动时，同样也会产生多普勒效应。



“2月15~16日用光学方法观测到 NP 0532，位置在蟹状星云中心双星附近，距南边的一颗偏北 5 角秒，偏东 4 角秒，误差 5 角秒，中心脉冲周期 33.085 毫秒，脉冲宽度 4 毫秒，大约在两次主脉冲中间偶尔出现次脉冲，积分目视星等 18 等，峰值星等 15 等*。库克，迪斯尼，泰勒，斯提瓦尔德天文台”。国际天文学会经常发布这种快报，目的是迅速通报各天文台的新发现，以便其他天文台尽快投入观测或开展研究。果然，几天之后，几个天文台都获得同样的观测结果。半个月后，清晰的脉冲星快速光变照片也被拍摄下来了(图 6.8)。图 6.8 的上方是脉冲星光度极小和极大时与周围恒星的对比，下图是

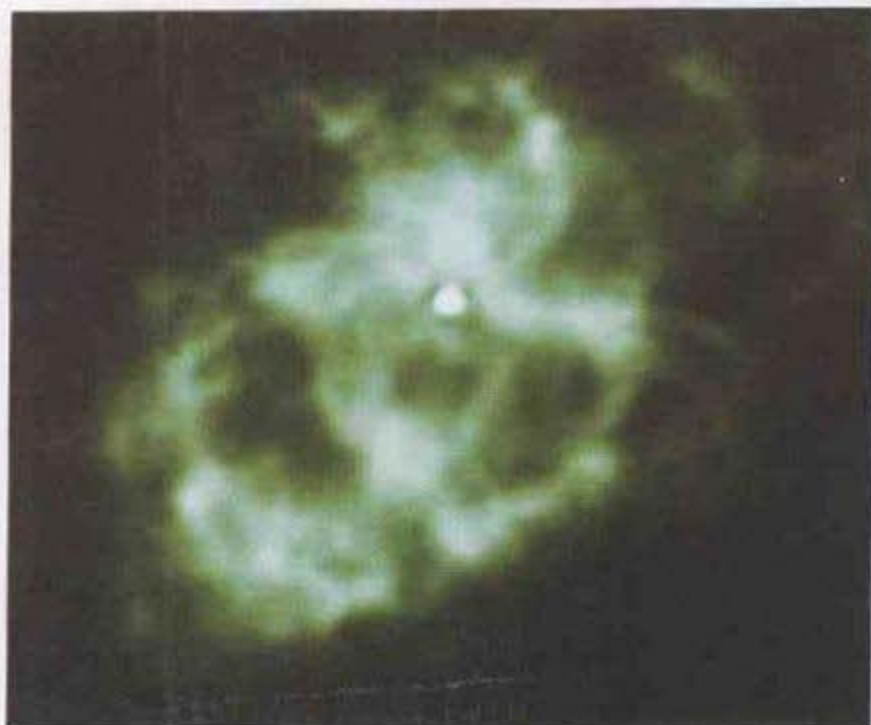
图 6.8 蟹状星云脉冲星的光学照片。上图左方对应脉冲星光度最小时，右方对应脉冲星光度最大时



* 积分目视星等相当于平均星等，峰值星等指最大星等。

图 6.9 蟹状星云里的脉冲星早就知道，现在才终于最后被确认下来

这是蟹状星云的部分放大图片，图中的亮星就是脉冲星



对应的彩色照片，突现出脉冲星的本质。

光学波段上发现脉冲星，这是一件了不起的事。有人把它说成是近代光学观测中最重大的成就之一。它揭开了脉冲星的谜底，的确像人们预测的那样，脉冲星的本质是一种星体。要不是有如此出色的光学观测相配合，大概诺贝尔奖金还不会这么快地颁发下来，这里，蟹状星云又为天文学家立下了汗马功劳。

其实，蟹状星云脉冲星就是我们前面多次提到的中心星，它的光学像也早就被我们拍摄下来了。当时，天文学家只是推测它大概在当年超新星爆发的位置，谁也没有想到它是一颗脉冲星。当然，在传统的照片上，更不会发现它有光度变化，因为 33 毫秒的光变周期是不可能显示出来的。

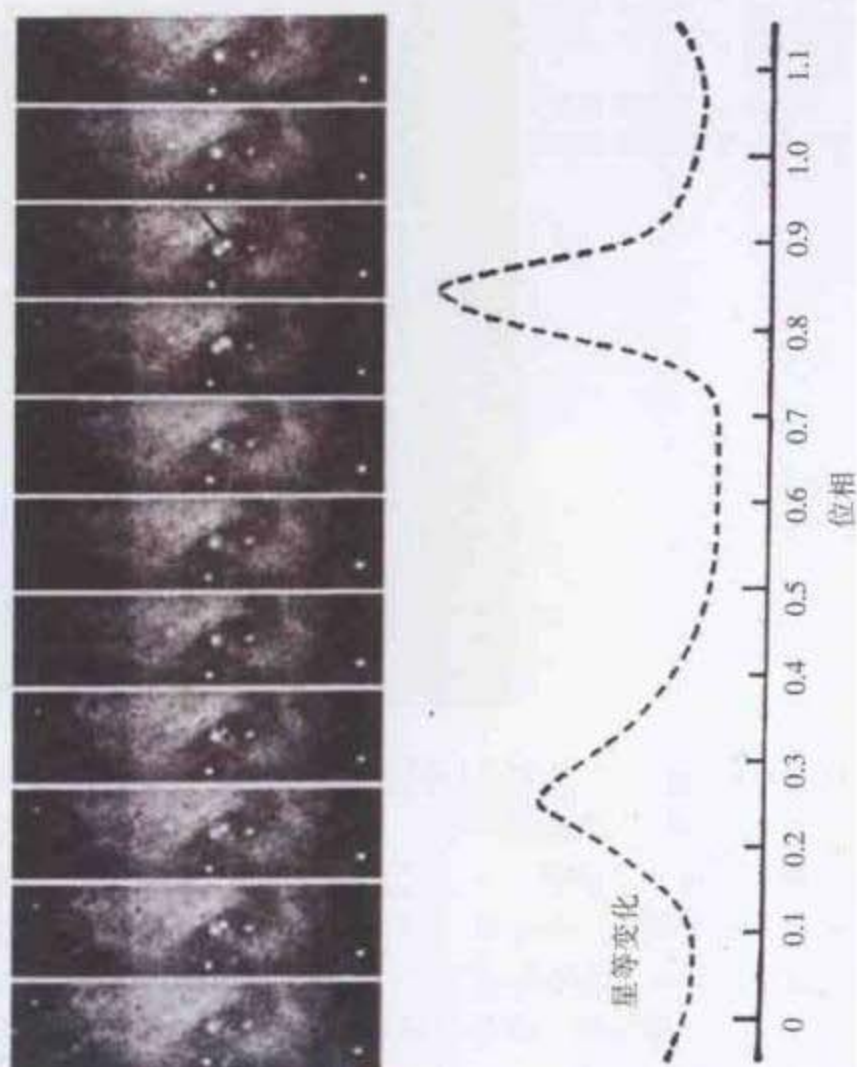
蟹状星云脉冲星的光学星体发现以后，在 X 射线和 γ 射线波段上也观测到脉冲星。后来，根据观测到的波段，在脉冲星的名字前面加上形容词：射电脉冲星、光学脉冲星、X 射线脉冲星……

联想到程茂兰先生

天文学家对蟹状星云脉冲星的光学脉冲情况很快地进行了研究。图 6.10 是



图 6.10 蟹状星云的光脉冲曲线和对应的光度变化照片



这颗脉冲星在各个脉冲瞬间的照片，右边是相应的光脉冲曲线。这条光脉冲曲线有一个特点，相继两个脉冲不仅强度不同，脉冲轮廓也很不一样。第一个脉冲是主脉冲，第二个脉冲是次脉冲，主脉冲的形状显得很尖，有人把它叫做“蜡烛”形脉冲。至于如何解释这些脉冲轮廓，是一个相当复杂的问题，我们留待下一节再讨论。

蟹状星云曾在各个电磁波段上显示过“才能”，埋藏在它里面的脉冲星也不示弱，同样在各个电磁波段大放异彩。继射电脉冲星和光学脉冲星之后，它又成了X射线脉冲星和 γ 射线脉冲星。1969年3月，美国海军研究中心首先用火箭观测脉冲星的X射线获得成功。一周后，美国麻省理工学院组成实验小



组，一方面用火箭在高空观测 X 射线，另一方面又动员美国地面上两个最大的天文台——海尔天文台（当时世界上最大的 5 米光学望远镜设在这里）和麦克唐纳天文台与之配合，进行地面光学观测。这次观测非常成功，同时收到 X 射线脉冲和光学脉冲，将两种脉冲讯号加以比较，发现它们的周期完全一致。

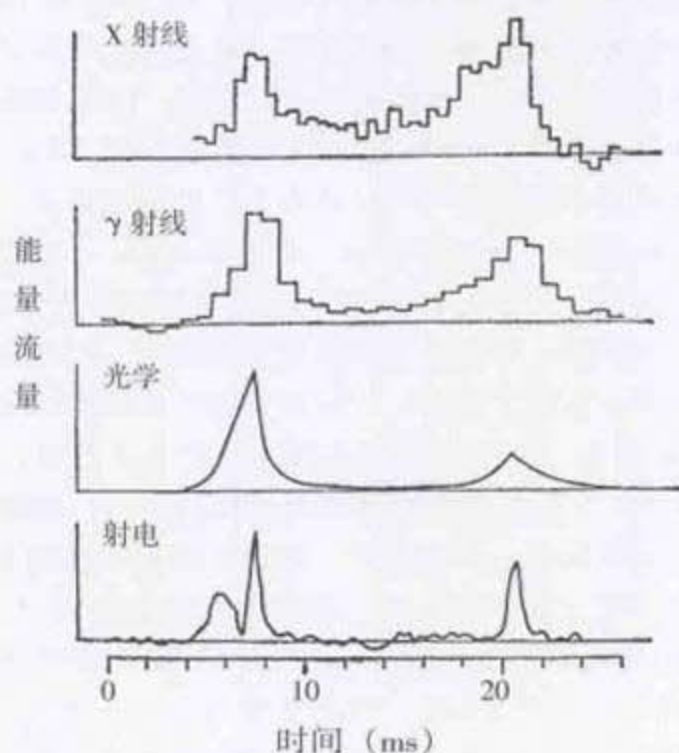
这次联合观测的成功不仅使天文学家感到满意，对物理学家来说也是一次重要的理论验证。物理学中有一条重要定律：“光速是不变的，无论什么波长的光子，只要一‘生下来’，就必然以同样的光速 c 运动。”这条定律在地面上进行过多次验证，尽管从未得出过相反结果，但总是受实验条件的限制，许多人一直不那么信服。现在，不同波长的光子从蟹状星云出发，运行到我们这里走了 6300 光年，如果它们的运行速度有一点差别，到达我们这里之后会相差很多。现在，X 射线脉冲和光学脉冲同时到达，说明光速的确是恒定不变，与电磁波的波长无关。写到这里，使我们想起我国著名天体物理学家、原北京天文台台长程茂兰先生的工作。程茂兰先生 1905 年出生，1925 年赴法国勤工俭学，1939 年获博士学位。先后在法国巴黎天体物理所，里昂天文台工作。当时，量子力学的开创人之一德布洛依认为，光速与波长有关，并且用星光做了实验。程茂兰先生毫不犹豫地指出德布洛依的实验错了，没有这种效应，他用大陵五型食双星的分光观测予以了证实。这件事曾经震动了巴黎的科学界。后来，法国天文界破格将上普罗旺斯天文台的副台长职务授予程先生。可惜，这样的人才回国后因种种原因未能发挥作用便与世长辞了。

不久，在气球上观测 γ 射线获得成功。至此，从 γ 射线一直到射电波，蟹状星云脉冲星一应俱全（图 6.11）。图中 γ 射线和 X 射线的脉冲轮廓是锯齿形的，因为在这些波段上的观测不是连续记录的。比较这些脉冲轮廓可以看出：光学脉冲和射电脉冲都明显地表现出主脉冲和次脉冲的区别。射电主脉冲的前面还呈现出脉冲起伏，称之为“引导”脉冲。但是，对于 γ 射线脉冲和 X 射线脉冲，主脉冲和次脉冲基本上是相同的。关于各种脉冲轮廓的分析，是一个相当复杂的问题，至今还没有完全解决。

我们可以对比一下，对于不同的波段，观测蟹状星云脉冲星的难度。这颗脉冲星的光学星等平均为 16.5 等，对于口径为 1 米的望远镜，每次光脉冲应该能收到约 200 个光子。但是由于望远镜的集光效率和探测器的影响，实际接收到的光子数只有 10 个左右。要想看到光变过程，对时间的要求至少要 50 毫秒才能在仪器上反映出来。因此，一次光脉冲接收到的光子还不到 1 个。由此不



图 6.11 蟹状星云脉冲星在各种电磁波段上的脉冲轮廓，注意它们的脉冲周期完全一样，没有滞后现象



难想到，单个光脉冲是无法辨认的，只有把大量的光脉冲叠加起来，加以平均，才能显示出光变曲线来。一般至少要累积 5 分钟以上，观测 10^4 个光脉冲，才能真正分辨出光脉冲的轮廓来。从图 6.7 的光脉冲讯号叠加也可以清楚地看出来。

对于 X 射线，虽然其光子的能量比光学光子的能量要高出大约 10^3 倍，但是由于是高空探测，探测器的接收面积很小，其灵敏度要比光学波段的低很多。要得到 X 射线的脉冲曲线同样是很不容易的，只能在专门的 X 射线天文卫星上多次累积观测。

γ 射线的探测似乎更为困难，但是由于 γ 光子的能量极高，在穿过大气时可以激发大气，产生出光脉冲来，通过观测光脉冲来确定 γ 辐射的脉冲。由 γ 光子产生光学光子的这种现象叫做契伦柯夫辐射。这样一来，在地面上就可以进行观测，而且可以把探测器的接收面积做得非常大，达到几个平方千米。尽管如此，测出脉冲星的 γ 脉冲周期仍然是非常困难的。例如，在美国霍普金斯山上有一台几平方千米面积的接收器，也只能勉强测出蟹状星云脉冲星的 γ 射线流量。

长期以来，蟹状星云脉冲星一直以独一无二的地位著称，哪一颗脉冲星也



没有像它那样，在所有的电磁波段里都能大显身手。1977年，澳大利亚天文学家才发现了第二颗光学脉冲星——船帆座脉冲星。这颗脉冲星的亮度十分暗，平均光学星等只有26等，几乎超出地面上所能观测到的极限星等，只有在光极大时才观测到一些光脉冲。

如果在人造卫星上放上一架口径几十厘米的望远镜，观测到的最暗恒星可以达到29等，那时将会发现更多的光学脉冲星。不过，即使如此，蟹状星云脉冲星的研究价值仍然会处于领先地位。

天蟹也有心脏

蟹状星云是一团非常稀薄的气体，别看它样子动人，还有许多名目繁多的结构花样，但它自身却不能产生任何能量。蟹状星云每秒耗费的能量大约是 10^{38} 尔格。我们知道，太阳1秒发出的能量相当于1万亿亿度电，比全世界每年的发电量还大1000多万倍，而蟹状星云发射的能量相当于10万个太阳。此外，蟹状星云本身的膨胀还要消耗巨大的能量，据计算，它比辐射消耗的功率还要大。如此庞大的能量消耗，谁来维持呢？能源只有一个，就是埋藏在里面的脉冲星。蟹状星云里的这颗明珠从诞生起就一直“供养”着天蟹，真是名副其实的“心脏”。等到脉冲星的能量耗尽了，“心脏”停止跳动，美丽的天蟹也将慢慢失去它的光辉。

脉冲星的能量辐射情况在上一节的图5.11中曾给出过，即图中标作中心星的那条曲线。所谓中心星，就是蟹状星云里的脉冲星。别看脉冲星在光学波段的亮度很暗，积分星等只相当于一颗18等恒星，但它发出的总能量大得惊人。原来，脉冲星辐射能量的情况和普通恒星有很大不同，绝大部分能量都是以X射线形式辐射出来。光子能量的大小是与光子的波长成反比。同是一个光子，由于波长相差悬殊，其能量的大小可以有天壤之别。1个X射线光子，其能量可以大到几个 10^6 电子伏特，也就是几百万电子伏特，而1个可见光的光子，其能量不过几个电子伏特。换句话说，1个X射线光子的能量等于100万个普通的可见光光子的能量。如果与1个波长为10米的射电波的光子相比，则相当于 10^{10} 个这样光子的能量。而 γ 射线光子又比X射线光子的能量大出成百倍。根据观测资料得知，蟹状星云脉冲星在射电波发出的功率是 3×10^{30} 尔格/秒，其中90%是在10~100 MHz区域发出的。而在红外波段以上，大约是 $7.5 \times$



10^{34} 尔格/秒，增大 2 万多倍。大体上，在射电波、可见光和 X 射线发出的能量比是 1:100:2000。至于在 γ 射线区的辐射，由于大部分 γ 光子都将其能量转移给蟹状星云，在星云中被吸收或转化为更长波段的辐射。因此，真正到达我们这里的数量并不多。

推算得出，蟹状星云脉冲星的总发射功率可以达到 5×10^{38} 尔格/秒，而整个蟹状星云的消耗功率也差不多是这个量级。正是靠了脉冲星源源不断地提供能量，蟹状星云才能够安然自得地炫耀它那美丽的光辉。

人的心脏一旦停止跳动，生命很快就完结了。蟹状星云的“心脏”如果停止跳动，却不至于马上死亡，还可以继续生存不少时间。蟹状星云虽然自身不能产生能量，但储存的本领非常之大，它似乎有先见之明，庞大的身体里早已慢慢地存下大量能量。物理学告诉我们，凡属有磁场存在的空间，本身就具有一定的能量，其能量密度用 $B^2/8\pi$ 来度量，其中的 B 代表磁场强度。我们已经知道，蟹状星云中的平均磁场强度大约是 10^{-4} 高斯，这个磁场强度看来是很弱的，但是由于体积庞大，因此，总能量储存还是十分可观的。除了磁场能量的储存以外，更重要的储存还在高速带电粒子。在蟹状星云中，有大量的高速（接近光速）带电粒子，这些高速的粒子称之为相对论性粒子。根据物理学的相对论效应，每个这样的粒子都具有很高的能量。把蟹状星云里所有的能量储存加在一起，大约有 10^{49} 尔格*。这可是了不起的能量储存，如果拿来让太阳消耗，足够太阳消耗 1 亿年之久！将来，蟹状星云的“心脏”真的停止跳动，照目前的消耗功率来计算，蟹状星云还可以继续维持的时间是

$$\text{年龄} = \frac{\text{总能量}}{\text{辐射功率}} = \frac{10^{49} \text{ 尔格}}{10^{38} \text{ 尔格/秒}} = 10^{11} \text{ 秒} \approx 3000 \text{ 年}$$

可见，蟹状星云竟储备下足够消耗 3000 年的能量。不过，一旦“心脏”停止了跳动，外来能源切断，蟹状星云的光辉就会不断衰减，天蟹便一天天萎缩下来。

明珠离我们有多远

我们在前面已经谈过恒星的距离和测量恒星距离的基本方法。对于脉冲星

* 由于平均磁场强度的取值有所不同，研究者对这个数值的估计不完全相同。



来说，我们当然也希望知道他们的距离。原则上，测量恒星距离的方法也可以用在脉冲星上。但是，脉冲星由于不断地发出脉冲讯号，脉冲星的距离便可以通过其脉冲讯号的变化来测定。这是脉冲星独有的一种方法。这种方法不仅可以用来测出脉冲星的距离，还可以反过来测出脉冲星和我们之间的宇宙空间中的电子密度和星际介质密度。

专用于测定脉冲星距离的方法叫做频率色散法。电磁波从脉冲星发射到地球，不同频率的电磁波，也就是不同波长的电磁波，由于通过介质，其传播速度会有所不同。因此，到达的时间会有差异。天文学家利用其时间差，便可以测定出脉冲星的距离。这就是频率色散法。

为了说清楚频率色散法，我们可以举一个简单的例子。为了测量甲市和乙市之间的距离，我们可以开两辆汽车，从甲市开到乙市。车A的速度为每小时60千米，车B的速度为每小时70千米。若车B提前10小时到达乙市，请问，甲市和乙市之间的距离是多远呢？这道题对一般的读者应该不难，答案是4200千米。我们可以把公式给出来

$$d = \frac{v_A \cdot v_B}{v_A - v_B} \times t$$

式中， d 是甲、乙之间的距离， v_A 和 v_B 分别是车A和车B的速度， t 是到达的时间差。

同样的原理用于脉冲星， v_A 和 v_B 是不同频率的电磁波的传播速度。只要知道到达的时间差就可以知道脉冲星的距离 d 了。但实际情况要复杂得多，因为造成电磁波速度变化的原因是在传播路径上有拦路虎，这里的拦路虎是电子。知道了平均电子密度，便可以求出速度来。问题是，我们预先并不知道宇宙空间中的电子密度。

不难理解，预知脉冲星和观测者之间的平均电子密度成了当务之急。问题陷入了循环困难，平均电子密度、速度和距离是联系在一起的，每一个量都依赖于另一个量。天文学家想出的办法是用其他的办法独立地测出几颗脉冲星的距离，再用已知的距离求出在该方向上的平均电子密度。以后，在测定其他脉冲星的距离时，平均电子密度便被看作是已知的。

此外，在实际测量中，和到达时间有关的物理量，常用一个色散量来表示，记作 DM 。由于色散量同观测用的频率和到达时间有关，因此是一个可观测的量。这样，在具体测定脉冲星的距离时，只要测出色散量 DM ，便可以求



出该脉冲星的距离 d 了，一般表示为

$$d = \frac{DM}{\langle ne \rangle}$$

式中， $\langle ne \rangle$ 是作为已知的平均电子密度。几颗最近的脉冲星的物理参量如表 6.1 所示。表中给出了脉冲星 (PSR) 的名称，是按坐标位置给出的，以及距离 (秒差距和光年)，色散量 DM 和平均电子密度。 DM 的单位是 $\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$ (秒差距/立方厘米)。

这些脉冲星的距离是用其他的测量恒星距离的方法测出的。这样，便可以把该方向上的电子密度计算出来，作为标准电子密度。

根据脉冲星的特殊性，我们不仅可以测量脉冲星的距离，还可以反过来测量银河系中星际介质的电子密度。也可以测量银河系中中性氢原子的分布情况。

表 6.1 近距脉冲星的距离和相关物理量

脉冲星 (PSR)	距离 (秒差距)	距离 (光年)	DM ($\text{pc} \cdot \text{cm}^{-3}$)	电子密度 (cm^{-3})
0823+26	360	1173.24	19.5	0.054
0950+08	127	413.89	3.0	0.024
1451-68	450	1466.5	8.6	0.019
J1713+0747	1100	3584.9	16.0	0.015
1855+09	900	2933.1	13.3	0.015
1929+10	200	651.8	3.2	0.071
1937+21	8300	27049.7	71.0	0.008
2021+51	1100	3584.9	22.6	0.021

屈指可数的明珠

寻找脉冲星是一件相当艰巨的工作，从 1968 年 2 月算起，到 1978 年底，也就是作者写作本书的第一版蟹状星云时，总共才发现了 321 颗。寻找脉冲星的工作之所以困难，是有多方面原因的：第一，脉冲星本身的讯号一般都很微弱，需要射电望远镜的灵敏度很高，要做到这一点，必须具备大型天线；第二，接收仪器不仅要求灵敏度高，而且要求对时间的分辨本领强，这样才能



把快速的脉冲讯号变化分辨出来；第三，脉冲星本身还有一个特性，它发射脉冲的方向性很强，只有当发射脉冲的部位朝向我们时，才能接收得到。不然的话，即使脉冲星离我们很近，也发现不了，这种现象叫做脉冲星的扫描效应。

脉冲星是非常引人注目的天体，世界上凡属有观测能力的射电望远镜几乎都对它们进行了观测。其中，有四个天文台的工作做得比较出色：澳大利亚的帕克斯射电天文台，英国的焦德雷尔班克射电天文台，美国的绿岸天文台和前面提到的波多黎各的阿尔西巴射电天文台。阿尔西巴射电天文台的360米口径的巨型射电望远镜是属于美国著名大学麻省理工学院的。像澳大利亚的帕克斯射电天文台，在1977年一次就公布了100多颗新发现的脉冲星。为了发现更多的脉冲星，采用了铺地毯式的观测方法，将射电望远镜对准天空，一个区域接一个区域连续地搜索，天文上把这种观测方式叫做巡天观测。要知道，望远镜一次所能观测的天空区域是很小的一点点，要做到巡天一遍，需要付出多么艰巨的劳动啊！好在脉冲星在银河系中的分布并不是均匀的，主要分布在银道平面的附近，因此，巡天范围一般不要求对全天所有的区域，只要能包括银道面南北一定的范围就够了。澳大利亚所处的地理位置正好适合进行这种巡天观测。经过几年的连续观测，到1977年发布观测资料时，他们居然很有把握地宣称：凡属到达地面的射电流量强度超过15毫央斯基*的脉冲星，他们的望远镜已经搜寻殆尽。也就是说，比较容易发现的脉冲星他们已经全部“包干”了。看来，要想发现更多的脉冲星，需要把目前的射电望远镜的灵敏度提高一个量级，或者更理想的方法是把望远镜放在月球上，自动进行观测。

就凭这300多颗脉冲星，我们可以科学地推断出整个银河系内脉冲星的分布情况。作者曾用这些资料做过这方面的研究工作*。下面简要地介绍我们的研究成果。

首先看一看已经发现的这300多颗脉冲星在银河系中是怎样分布的。在讨论银河系里的问题时，习惯用银道坐标系。银道坐标系以银道平面为基本平面，以太阳为中心，银河系中心的方向作为银经的起算点，即0的方向。银纬从银道面向南北度量，两端的位置叫做南、北银极。要想知道脉冲星在银河系

*央斯基：射电流量单位，1央斯基= 10^{-26} 瓦·米⁻²赫⁻¹，毫央斯基，即央斯基的千分之一。

*何香涛等：“脉冲星的空间分布和产星率”，天文学报，1980年第3期。



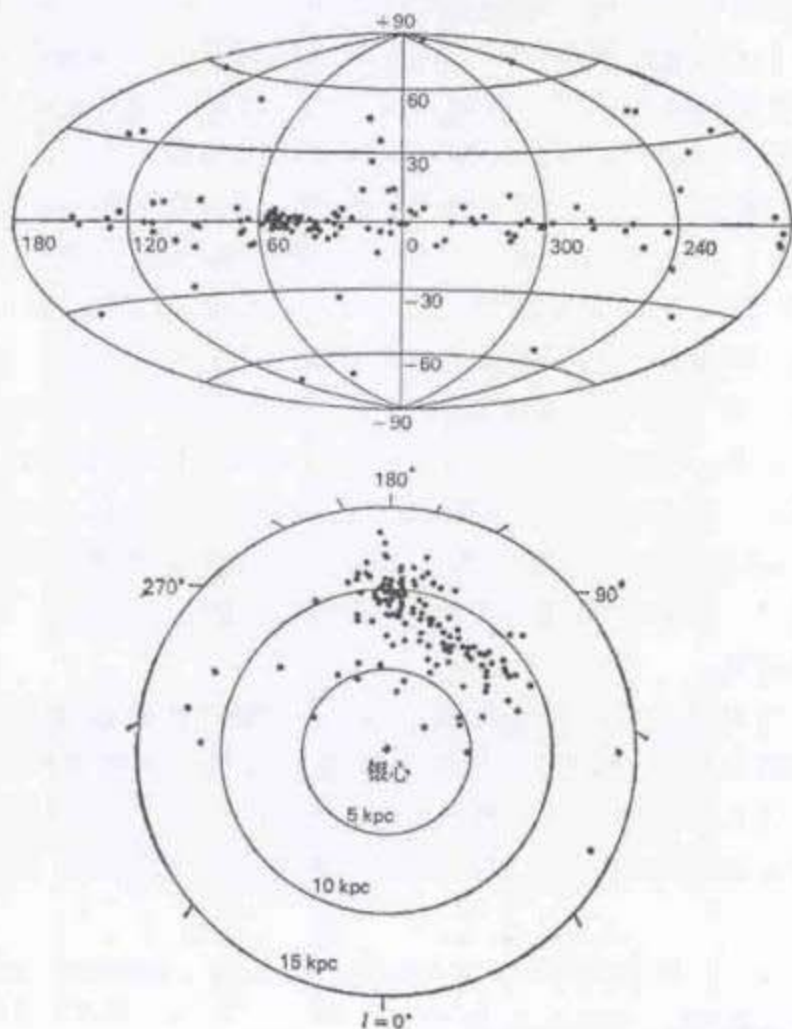
中的分布，需要知道脉冲星的银经和银纬。这两个量是容易得到的，射电望远镜上都附有坐标度盘，当望远镜指向一颗脉冲星时，可以立刻从度盘上读出坐标数值来，也可以简单地通过坐标系统间的换算得出来。除了脉冲星的坐标位置以外，还需要知道脉冲星的距离。我们在上一小节已经专门讨论了测量脉冲星距离的方法。

知道脉冲星在天上的位置，并定出它的距离，便可以绘出它们在银河系中的分布图来。从图 6.12（上）可以看出，绝大部分脉冲星都是分布在银道面的附近，这是和将要谈到的脉冲星的起源有关。图 6.12（下）是把脉冲星都投影到银道面上，从图上看，太阳附近的脉冲星最多，愈远离太阳，脉冲星愈少。这是因为远离太阳的脉冲星讯号太弱了，不容易被观测到。尤其是靠近银河系

图 6.12 脉冲星在银河系中的分布，图中只标出了已经发现的脉冲星中的一部分。

上——从侧面看

下——投影在银道平面上看，×表示的是太阳的位置





中心的区域，那里的恒星和星际物质都非常密集，更不容易被观测到。至于银河系中心的另一侧，不要说脉冲星，任何其他明亮的天体都被遮挡住了，将来只有靠超级宇宙飞船去探测。

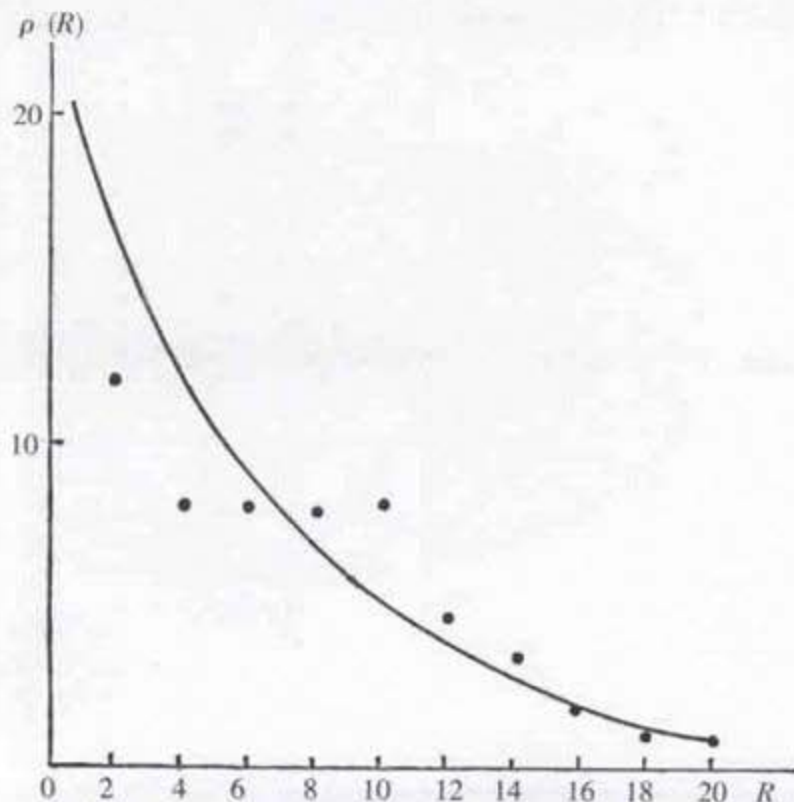
脉冲星的实际分布情况和图 6.12（下）有很大不同。实际上，愈靠近银河中心，脉冲星的密度愈大，也就是说，和普通恒星的分布情况是类似的。如果用 R 表示从银河系中心算起的距离， $\rho(R)$ 表示 R 处的脉冲星的空间密度，则不难想象， $\rho(R)$ 的实际分布应该是从银河系中心向外衰减。分析一下已知的脉冲星的分布，将未知部分用外推法推出，通过一定的运算，我们便可以得到其分布规律为

$$\rho(R) = 88.36e^{-0.16R}$$

这是一个按指数衰减的分布规律，在银河系中心的密度很高，随着距离的增大，密度很快就衰减下来。例如，在太阳附近，脉冲星的空间密度只有银河中心的 $1/5$ 左右。

银河系中总共有多少颗脉冲星呢？这是一个令人感兴趣的问题。如果知道

图 6.13 银河系中脉冲星的空间密度分布。点代表由观测值得出的密度，曲线代表整个平均密度分布。横坐标表示距银河中心的距离（单位：千秒差距）





脉冲星的空间密度，原则上就可以求出总数。在计算过程中需要注意到脉冲星的扫描效应，即我们所观测到的脉冲星只是脉冲星中脉冲讯号源能够朝向我们的那一部分，据估计，这一部分只占总数的 $1/5$ 。最后，我们求得脉冲星的总数是 9×10^4 个。乍看起来，9 万颗的数量相当可观，但和其他天体一比，就显得少得可怜了。我们知道，银河系中大约有 10^{11} 个恒星，脉冲星在其中只占百万分之一，恰似点缀在浩瀚宇宙中的几颗明珠。

事情发展到 2004 年，20 多年过去了，天文学家们所发现的明珠增加了多少呢？要想发现更多的明珠，首先要提高望远镜的观测灵敏度。澳大利亚的射电天文学家虽然夸过海口，号称流量在 15 毫央斯基以上的脉冲星他们都发现了。但是，射电灵敏度目前已提高到超过 1 个毫央斯基。除了提高望远镜本身的灵敏度之外，相关的技术处理也十分重要。望远镜可以增加露光时间，对射电望远镜就是增加积分时间。不过，对于脉冲星来说，由于要测量它的脉冲周期，积分时间不能过长，否则脉冲讯号会被平滑掉。为了克服这一困难，可以对脉冲讯号多次重复观测，把讯号叠加起来处理，便可以大大提高灵敏度。另一项重要的手段是增加射电望远镜的接收频率的宽度，通常把它称为带宽。带宽增加了，相当于把照相机的光圈加大了。增加了这些手段之后，使得发现脉

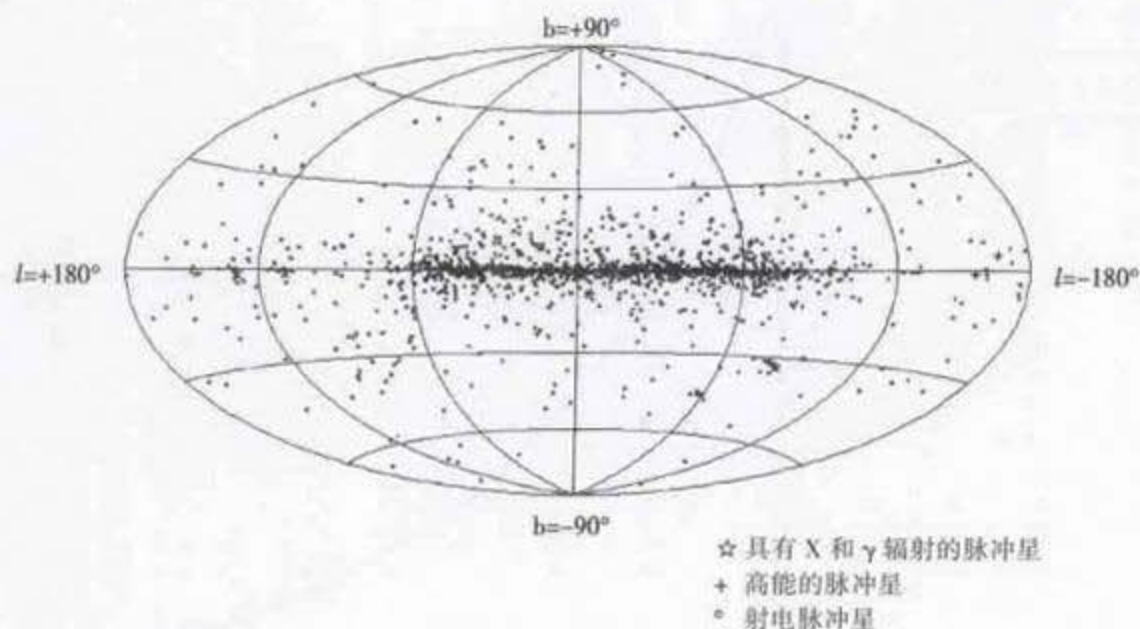


图 6.14 1412 颗脉冲星在银河系中的分布



冲星的数量成倍地增加。除了上述的四家大的射电天文台以外，世界上能够进行脉冲星发现和观测工作的台站还有很多。我们国家的脉冲星观测起步很晚，目前只能进行一些强辐射脉冲星的常规观测。相比之下，印度已经发现了多个脉冲星，其水平远在我们之上。

截止到 2003 年 4 月，世界上总共发现了 1412 颗脉冲星，其数目增长之快是令人吃惊的。图 6.14 是用这些脉冲星绘出的在银河系内的分布。虽然数目增加了很多，但与图 6.12 相比，可以看出，大部分脉冲星仍然分布在银道面内，整个分布趋势也是非常相似的。根据我们的估算，银河系中应该有将近 10 万颗脉冲星，看来，天文学家的挖珠任务依然是任重而道远。



7 明珠里的奇异世界

近代天文学不仅在观测上下功夫，理论工作也异常活跃，尤其当深入到星体的内部时，就只能依靠理论上的探讨了。拿地球来说吧，人类虽然生活在地球上，但地球的内部究竟是什么样子，至今仍然搞不清楚。也许有人会想到，为什么不挖一个深洞到地下去看一看呢？历史上的确有人做过这种尝试，但都以失败告终。既然连我们地球内部都不清楚，遥远的星体内部就更无法得知了。实际情况并非如此。目前，天文学家对星体内部掌握的知识似乎并不亚于对地球内部的了解。理论在这里显示了威力。

面对神奇般准确的脉冲讯号，理论天体物理学家只用几年时间就弄清楚了它的来源，还对脉冲星的内部结构作了许多探索。原来，这里的物理条件十分特殊，称得上是科学领域里的一个“奇异世界”。尽管未知的东西还有很多很多，但只要想一想脉冲星的发现才几十年，不能不说已经取得的成就是十分可观的了。

理论家的预言

1932年，英国凯文迪什实验室发现了一种新的基本粒子，叫做中子。中子和质子一样，都是组成原子核的基本粒子。但是，中子是不带电的，质子是带电的。质子带正电，电子带负电，质子和电子相撞便形成中子。中子的质量比质子略大一点点，如果把电子的质量取为1，则质子的质量是1836，中子的质量是1839。我们知道，原子是由原子核和围绕原子核旋转的电子组成，而原子



核是由质子和中子组成的。因此，原子由三种基本粒子组成：质子、中子和电子。由于电子的质量很小，故一个原子的质量几乎全部集中在原子核上。

发现中子的消息很快传到丹麦首都哥本哈根。这里有一个理论物理研究所，领导人是原子物理学的鼻祖、丹麦物理学家玻尔。当时，这个研究所是世界上原子物理方面最先进的研究单位之一，被称为哥本哈根学派。哥本哈根学派汇集了许多年轻的人才，这些人思想活跃，不仅精通业务，而且爱好语言、诗歌和音乐。他们经常开展生动活泼的学术讨论，在这样的环境熏陶下，每个人的才能都得到最大发挥，使哥本哈根学派涌现出一大批知名的物理学家。

后来成为前苏联著名理论物理学家的朗道当时也正在这里。当发现中子的消息传来以后，这里立即讨论了中子发现的意义。朗道首先提出，有可能存在着主要是由中子组成的物质，这在一般情况下是无法做到的，但在星球上却有可能实现。1934年，美国天文学家邦迪和兹维基也独立地提出了同样的想法，他们将由中子组成的星体叫做中子星。

由中子而想到中子星，看来十分新奇，其实只要分析一下原子结构，就不难想到这一点。1个原子核的实际直径只有 10^{-13} 厘米，而1个原子的直径却有 10^{-8} 厘米，也就是说，按体积计算，原子是原子核的 10^8 倍。可见，在原子中绝大部分的空间都是空的。最简单的原子是氢，原子核里只有一个质子，没有中子。在门捷列夫周期表中，氢原子以下的原子核里都含有中子，如第二号原子氦含有两个质子和两个中子。如果能够设法把原子中的电子和质子合起来，变成中子，物质便成了都是由中子组成的，而且空间也将被压缩得很小。要做到这一点，关键是要有足够的压力，硬是把电子压回到原子核里，使它和质子结合。这样的压力在地面上是办不到的，因此，想到星球里也许有可能实现。如果真的实现了，星球里的电子和质子都结合成中子，这岂不也就成了一颗中子星了吗？

有了初步的想法以后，还需要把它理论化和模型化。1939年，奥本海默和沃尔科夫计算了第一个中子星模型。后来，兹维基进一步设想，中子星可以在超新星爆发的过程中产生，如果是这样的话，蟹状星云里应该有一颗中子星存在。

理论还必须通过实验来检验。开始，天文学家们的热情似乎还很高，到处去寻找中子星。找来找去，只有一种叫做白矮星的天体有些像，但根据白矮星的观测数据进一步分析，发现白矮星上的条件还差得很远。除此之外，再也找



不到适合的候选者了。慢慢地，中子星变成了纸上谈兵，对它感兴趣的人也愈来愈少了。只有第一个提出中子星设想的朗道对它还有些偏爱，他曾经写过一套闻名于世的理论物理丛书，在其中的“统计物理学”一卷中专门用整章的篇幅来讨论这个问题。

1968年2月，发现脉冲星的消息在英国《自然》杂志上一发表，被人们闲置了30多年的中子星问题立刻活跃起来。现成的中子星理论很快和脉冲星对上了号，脉冲星正是快速旋转着的中子星。

夜空中的灯塔

脉冲星的最大特点是不停地发射十分规则的脉冲讯号，讯号的周期非常之短，许多脉冲星都短于1秒，最短的蟹状星云脉冲星，周期只有0.033秒。另一个短周期的是船帆座脉冲星，周期是0.1秒。脉冲星的周期虽短，但却异常稳定，任何一种脉冲星模型，都必须回答清楚这两个最主要的特性。

一个天体，能够向我们周期性地发射讯号，可能的机制有几种呢？根据历来的观测，不外乎有三种：脉动、双星绕转和自转。

首先分析一下脉动。在满天的星斗中，有不少的星亮度在不停地变化，这类星叫做变星。变星光变的原因是多种多样的，其中一个原因是由于星体本身在脉动，星体一胀一缩，从而引起亮度的变化，这样的变星叫做脉动变星。一个星体的亮暗，除了取决于温度之外，还取决于星体的表面积。当脉动变星膨胀到最大时，表面积最大，亮度也最大；当脉动变星收缩时，表面积减小，亮度也变暗。脉动变星在变星中占有很大比例。在已发现的3万多颗变星中，有1万多颗是脉动变星。脉冲星会不会是由于脉动的原因引起的呢？单从周期性讯号来看，似乎是可能的，当脉动到最大时，讯号变强，形成脉冲；当收缩时，讯号变弱，脉冲消失。但是，观测表明，脉动变星的周期经常会有变化，很难达到脉冲星要求的稳定度。此外，根据脉动理论，脉动周期 T 和星体的密度 ρ 有关，周期的大小正比于 $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ ，即

$$T \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

脉冲星的周期范围很大，长短相差100多倍，反映到密度 ρ 上，应该相差



$100^2=10000$ 倍，这对于脉动变星来说是不合理的，同一类星体密度不可能相差 1 万多倍。实际上，星体中最密的白矮星和中子星的密度已经知道，如果用白矮星的密度计算，周期不会短于 1 秒；而如果用中子星计算，周期只有 0.001 秒，又显得太短了。

第二种可能性是双星绕转。天上的星，成双成对的很多，大约有三分之一以上是双星。双星是一颗星绕另一颗星旋转，当旋转的轨道平面和视线方向一致时，我们会看到一颗星遮挡一颗星，就像日食一样，每转一周，遮挡一次。遮挡的结果形成变星，这种变星叫做食变星。如果脉冲星是食变星，那就要求双星绕转的周期能够短至 1 秒钟左右，甚至必须达到 0.033 秒。设想一下，月球和地球也可以看作是一对双星，如果月球每 0.033 秒绕地球旋转一周，那将是一幅什么情景？具体计算表明，如果双星是由一对白矮星组成，它的周期不会短于 1.7 秒。如果双星是由一对中子星组成，尽管周期可以满足，但在这样飞快旋转的系统中，会产生相对论效应，引起引力辐射，能量会很快地损失，造成整个系统不稳定。

剩下的唯一可能性是自转。地球每 24 小时自转一周，太阳每 27 天自转一周，月球每月自转一周，天上所有的星球都在那里自转，连太阳系和银河系也都在那里旋转。不仅天体，小至原子核和电子也都在自旋。细想起来，这的确是一件很奇怪的事情，无怪乎英国著名天文学家爱丁顿曾说过这样的话：“宇宙间最深刻的奥妙就是一切物体都在那里旋转着。”这里，我们并不讨论自转的奥妙，只是关心自转的模型是否合理。事实上，脉冲星发现的当年，不少天文学家就肯定了下来，只有自转模型是行之有效的。

目前，最公认的自转模型叫做“灯塔”模型。这种模型设想脉冲星上存在着一个发光的“灯塔”，这个“灯塔”不停地发射着电磁波，脉冲星每自转一周，“灯塔”扫向地球一次，于是我们观测到一次脉冲。“灯塔”模型需要回答两个问题：一是星体能不能自转得这样快？二是“灯塔”究竟是什么？

虽然所有的星体都在那里自转着。如果要求 1 秒自转一周，情形就不同了。一个物体自转时会产生离心力，自转的速度愈快，离心力愈大。离心力能使旋转的物体碎裂，一个机器上的木轮子，旋转得太快，会被甩散。如果旋转一个铅球，则很难散裂开来，因为它和物体本身的密度有关。对星球来说，情况是类似的。普通的恒星，等不到自转这样快，早已经瓦解了。在已知恒星中，密度最高的要算白矮星了。白矮星的物质密度大约是每立方厘米 1 吨，经

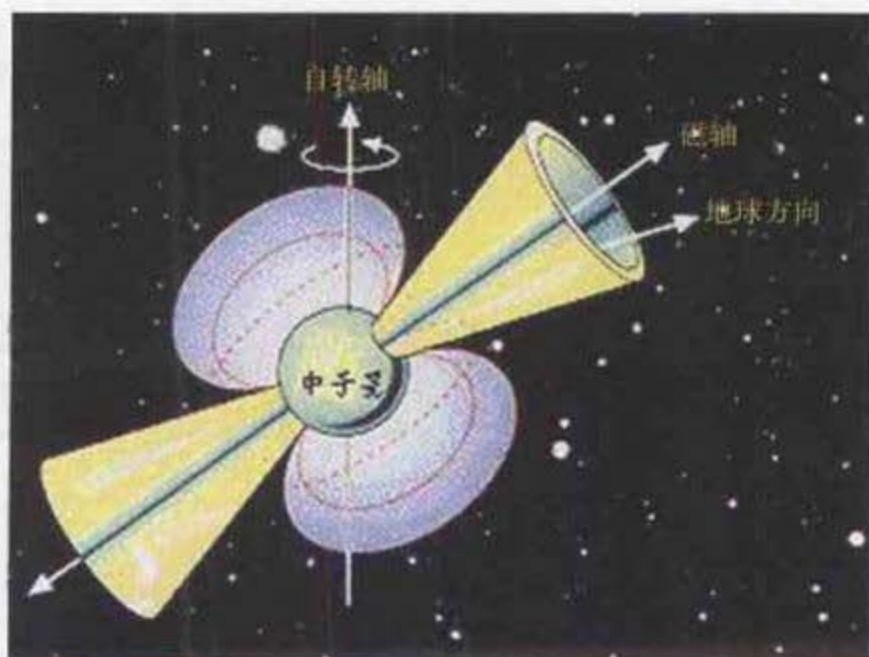
过计算，白矮星的自转周期最快只能达到 1 秒，短于 1 秒也要碎裂。另外，如果脉冲星真是白矮星的话，我们应该看到更多的光学脉冲星，因为太阳周围的白矮星还是很容易观测到的。

想来想去，只有 30 多年前就被预言的中子星是最理想的。中子星几乎全部是由中子组成的，它的物质密度和原子核接近，可以达到每立方厘米 10^{14} 克，即 1 亿吨！如此密的中子星自转速度再快一些，也完全可以承受得了。

“灯塔”又是什么呢？实际上，太阳的表面上也经常出现“灯塔”，当太阳上出现大的黑子或者耀斑时，会发出强烈的粒子流和射电波。不过，太阳上的这些“灯塔”和脉冲星上的“灯塔”相比，是小巫见大巫了。脉冲星的“灯塔”，便是从脉冲星磁极发出的辐射。一个脉冲星有两个“灯塔”向外发射。一个脉冲星上的“灯塔”等于几万个太阳。从机制上来说，脉冲星上要求的“灯塔”还必须是连续辐射的。满足这些要求的“灯塔”只能依靠磁力，脉冲星正是通过它的两个磁极向外发射电磁波的。脉冲星的磁场是宇宙中已知最强的磁场，高达 10^{12} 高斯，即 1 万亿高斯。在这样强的磁场下，它的南北两个磁极不停地向外喷射着强大的电磁波束，这就是我们所要求的“灯塔”。

具有“灯塔”的快速旋转中子星，完全具备了脉冲星的要求。现在，需要设想一下，这样一个模型应该怎样摆在空间才好。图 7.1 便是一种摆法，中子

图 7.1 快速自转中子星不断地向地球发射脉冲讯号



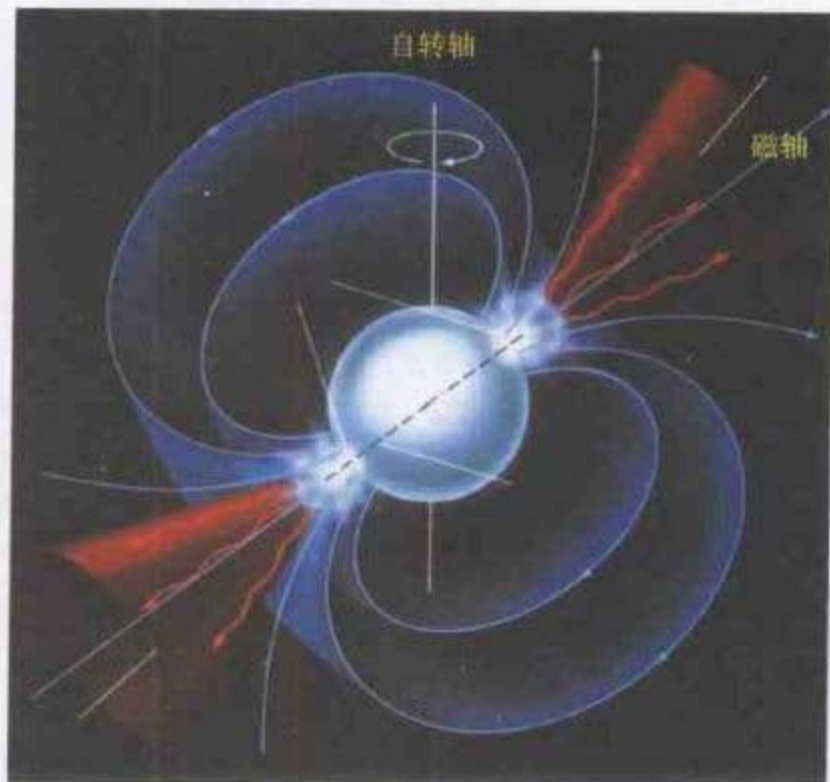


星的自转轴和磁轴不在一条直线上。这一点是很重要的，如果自转轴和磁轴在一条线上，自转轴若对准地球，会永远有辐射，否则，会永远看不到辐射。好在这个要求并不苛刻，多数星球，包括地球上的磁极和地极也是不在同一点的。如图 7.1 所示，中子星每自转一周，“灯塔”扫射一次地球，射电望远镜便观测到一次脉冲讯号，“灯塔”本身扫过的时间，便是一次脉冲的脉冲宽度。中子星快速而稳定地旋转着，因此望远镜接收到的脉冲讯号也十分准确。

现在，我们再来看一下蟹状星云脉冲星的模型。我们知道，蟹状星云脉冲星的讯号不是等强度的，而是一个主脉冲，一个次脉冲，可以用图 7.2 的模型来解释这种现象。这个模型的特点，是南北磁极（“灯塔”）都可以扫到地球上，但是，扫向地球时的角度不同，因此，观测者接收到的两个“灯塔”来的讯号强度也不一样。角度小的讯号强一些，形成主脉冲；角度大的，讯号弱一些，形成次脉冲。

并不是所有的脉冲星，其“灯塔”都能扫到地球上，这取决于自转轴方向和磁极方向在空间的摆法。读者不妨把图 7.2 中脉冲星的位置转动一下，地面上的观测者就看不到“灯塔”射来的光束。实际上，我们能看到的脉冲星是少

图 7.2 蟹状星云脉冲星的模型





数，大部分脉冲星由于角度不合适而无法看到，这种现象叫做脉冲星的扫描效应。如果认为脉冲星的自转轴在空间的分布是随意的，那么根据计算，扫描效应使得我们只能看到五分之一的脉冲星，在计算银河系中的脉冲星总数时，这是必须考虑的。

我们用快速自转中子星模型成功地解释了脉冲星现象。脉冲星只能是中子星，但是中子星并不一定都表现为脉冲星。到目前为止，虽然观测上还没有发现其他形式的中子星，但从理论上来看，并不排除其他形式中子星的存在。

多么准的钟也有误差

我们曾经夸奖过脉冲星是一个天然良钟，走时十分精确。谁会想到，这么精确的“天钟”也仍然有误差。在天文学家的不懈努力下，对脉冲周期的测量愈来愈准确，终于发现脉冲星的周期并不是固定的，而是不断地变化着。

第一个被发现周期有变化的脉冲星又是蟹状星云脉冲星。习惯上用 P 表示脉冲星的周期， P 上面加一点， $\dot{P}$ 表示周期的变化率。蟹状星云脉冲星的

$$\dot{P} = 4.2 \times 10^{-13} \text{ 秒/秒}$$

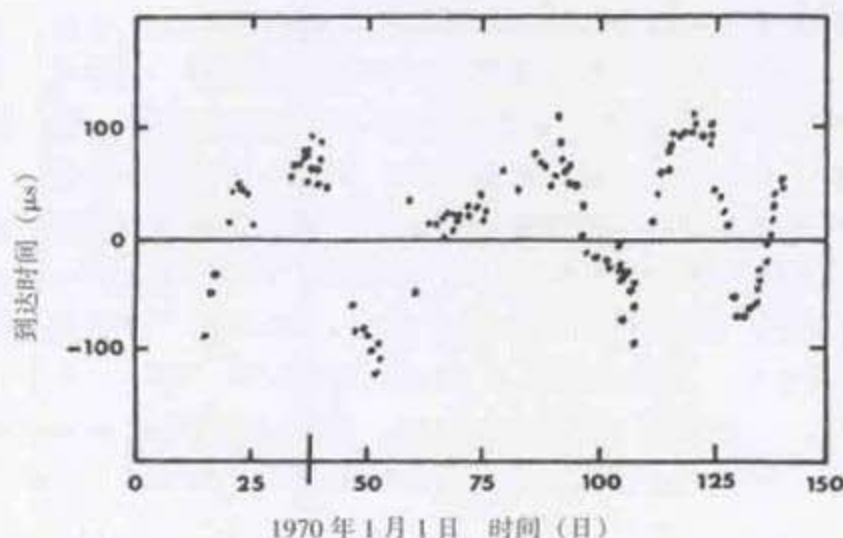
这里用“秒/秒”的单位，表示每秒钟内周期增加了若干秒。如果累计一天，蟹状星云脉冲星的周期将增长大约 36.5 毫微秒*。

测量如此微小的周期变化，的确不是一件容易的事情。美国普林斯顿大学的一个研究小组，为了测准蟹状星云脉冲星的周期变化，连续地进行了 5 年的观测。他们借用美国海军天文台保存的最准确的钟，仔细地订正了由于地球本身的运动引起的误差。由于他们的努力，不仅测量出周期的变化速率，还测出周期变化速率的变化，换句话说，测出周期变化的加速度。

通过一系列精确地测量，发现我们原来认为是完美无缺的“天钟”，问题还相当不少。不仅周期的长度有变化，每个脉冲到达的时间也不是那么准时，具有相当大的起伏现象。拿蟹状星云脉冲星来说，这种起伏现象在几个月之内可以相差几十毫秒。图 7.3 是在 1970 年前后一段时间里，蟹状星云脉冲星脉冲的起伏现象。横坐标是以天计的时间，纵坐标的“0”点表示脉冲应该到达的时间。可以发现，脉冲实际到达的时间经常和预期时间不一致。

*1 毫秒=1/1000 秒，1 毫微秒=10⁻⁶ 秒。

图 7.3 蟹状星云脉冲星脉冲到达时间的起伏现象，零点线表示准时到达（据阿尔西巴射电天文台的资料）



天文学家花费这么多的心血去测量脉冲星的周期变化，意义何在呢？通过测量周期的变化，可以知道中子星的自转和哪些因素有关。结果发现，所有脉冲星的周期都在拉长，周期拉长意味着中子星的自转速度在不断减慢。根据中子星自转速度的变慢，我们得出了许多重要的结论。

首先是关于脉冲星的能量来源问题。普通恒星的能量来源于恒星内部的热核反应，但对于脉冲星来说，内部的热核反应早已经停止，而脉冲星的能量消耗又大得惊人，一颗脉冲星消耗的能量等于几十万个太阳。这样庞大的能量消耗靠什么来维持呢？说来也许令人难以置信，脉冲星没有任何的其他能量来源，只是依靠自身旋转速度的变慢。一个物体，当处于运动状态时，具有一定的动能。一个自转着的物体，同样具有一定的自转能。我们都看到过花样滑冰运动员的绝技，先是舒展开身体在那里旋转，突然间把身体收拢，于是就飞快地转了起来。物理学告诉我们，这叫做角动量守恒。其实，除了用角动量守恒解释以外，还可以用能量守恒来解释。运动员开始时的旋转，是为了在那里储备下尽可能多的自转能，以备下一步做快速旋转时，克服冰刀和冰之间摩擦消耗的能量。自转能储存的多少，取决于自转体的质量和自转的速度。由于脉冲星的质量和太阳差不多，自转速度又快到 1 秒左右转一周，因此储备的自转能非常之大，足够脉冲星消耗几百万年之久。蟹状星云脉冲星就是靠自转速度的减慢，来维持能量消耗的。

周期的变慢还证明脉冲星不可能由双星形成。如果脉冲星是由双星形成的，由于脉冲星不断地消耗能量，双星系统的能量会不断地减小。这样，轨道

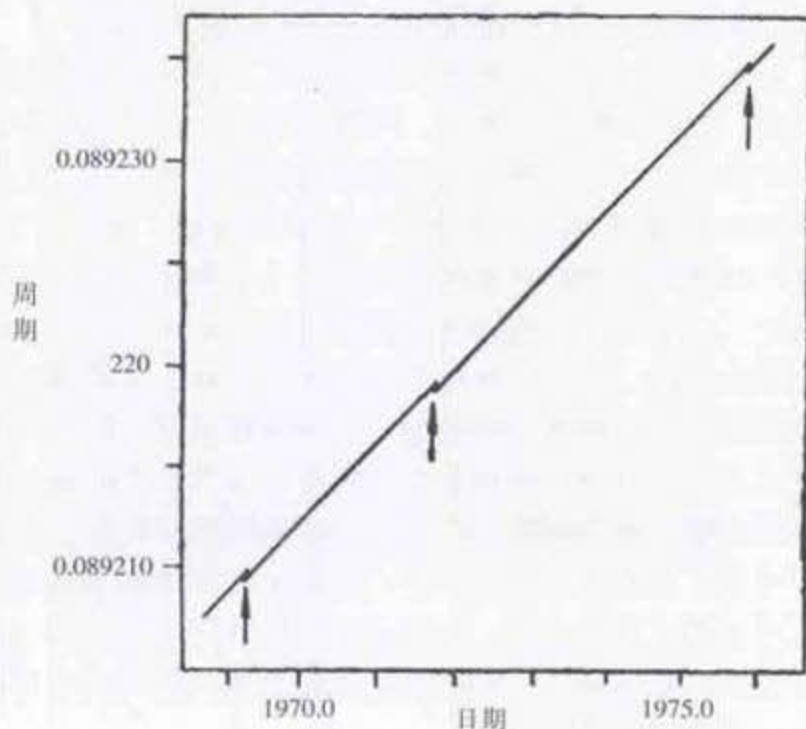


半径会逐渐缩小，从而公转周期也逐渐缩短，这是和观测结果相矛盾的。

地球上经常发生地震，宇宙中很难找到一个没有地震的星球，就连脉冲星也同样不能安静。在观测脉冲星周期的变化时，发现数起周期突然变短的现象，天文学上叫做“自转突快”（Glitch）^{*}现象。1969年2月底至3月初，澳大利亚和美国的天文学家同时注意到船帆座脉冲星的周期突然变短，原来的周期是0.08920930095秒，几天之内变短了0.000000196秒，即约200毫微秒。这颗脉冲星的周期增长速率是每天11毫微秒，这样大的突然缩短是非常明显的（图7.4）。周期缩短之后又继续慢慢增加。随后，在1971年8月和1975年10月，又观测到了两次类似现象，每次变短的幅度也是接近200毫微秒。

蟹状星云在标新立异方面从来是不甘落后的。1969年9月，在蟹状星云脉冲星里也发现同样现象，1975年2月又发生了一次。不过，蟹状星云脉冲星每次周期突变的幅度不大，以至于1971年10月虽然也观测到过一次，但由于和背景起伏讯号区分的不那么明显，最后没有得到公认。

图7.4 船帆座脉冲星（PSR 0833-45）在周期缓慢增长的过程中，观测到了三次“自转突快”现象



^{*}Glitch 一词来自中欧国家使用的意第绪（Yiddish）语，意思是突然性变化。



一般认为，“自转突快”现象是由于脉冲星上发生了类似于地球上的地震现象，被称之为“星震”。中子星的结构与普通的恒星完全不同，它的表面也有一层固体状态的壳层，好像地球表面的地壳一样。当壳层内的应力不均匀时，会使壳层发生局部破裂，从而引起“星震”。我们知道，地球上的地震现象直到今天还没有得到解决。有人发现，当地球的自转出现不均匀现象时，也容易触发地震，说不定通过研究星震现象会有助于地震问题的解决。不过，到目前为止，观测到星震现象的只有几颗脉冲星。

不要因为讨论了许多脉冲星“走时”不准的现象，而对我们的“天钟”发生怀疑。要知道，这些误差都小于 10^{-9} 秒，因此，脉冲星作为宇宙间最准确的时钟，仍然是当之无愧的。

脉冲星的寿命

在研究脉冲星周期变化的基础上，天文学家们想出一种计算脉冲星年龄的方法。我们已经知道，所有脉冲星的周期都在不断地拉长，也就是说，中子星的自转在不断变慢。可以这样设想，开始时中子星的自转速度是无穷大，之后按着现在的变慢速率一点点慢下来。根据这种设想，慢到现在的周期值，共用了多长时间呢？这段时间应该代表脉冲星的“年龄”，设脉冲星的周期是 P ，周期变化率是 $\dot{P}$ ，则脉冲星的年龄应该是

$$\text{年龄} = P/\dot{P}$$

上述年龄相当于脉冲星从周期等于 0 变到 P 。周期等于 0，相应的自转速度应是无穷大，从数学上看这是可以的，但从物理上考虑就未免勉强。脉冲星刚诞生时的自转速度无论如何不会达到无穷大。因此，这样算出的年龄是偏大了。

进一步深入分析，发现脉冲星的周期变化率 $\dot{P}$ 和周期 P 之间是有关系的。一般说来，周期 P 愈短的脉冲星， $\dot{P}$ 也愈大。蟹状星云脉冲星是目前已知周期最短的之一， $P=0.033$ 秒，它的 $\dot{P}=4.2 \times 10^{-13}$ 秒/秒也是非常之大的。把已发现的脉冲星进行统计分析，得出 P 和 $\dot{P}$ 之间的关系是

$$\dot{P} = AP^{2-n}$$

式中， A 是一个常数， n 叫做阻尼系数， n 的大小对脉冲星关系很大，对于大多数的脉冲星来说，取 $n=3$ 。根据这个关系，我们可以求出一个更合理的年龄，叫做“特征年龄”



$$\text{特征年龄} = \frac{1}{2} \frac{P}{\dot{P}}$$

“特征年龄”与上面计算的“年龄”相比，缩短了一半。目前认为，特征年龄基本上代表脉冲星的年龄。当然，绝不会像计算人的年龄那样准确，因此，在年龄前面才加了“特征”二字。把蟹状星云脉冲星的 P 和 $\dot{P}$ 代入上式，很容易求出其特征年龄是 1240 年，与蟹状星云的真实年龄 900 多年是很接近的。这是目前已知脉冲星中最年轻的。另一个年轻的是船帆座脉冲星，它的特征年龄是 11000 年。船帆座脉冲星也是在一次超新星爆发中产生的。用其他方法估计，这次超新星爆发的时间在 1 万~3 万年之前。对于一般的脉冲星来说，特征年龄都在几十年以上。可见，蟹状星云脉冲星算得是脉冲星中最小的“婴儿”了。

总之，刚诞生的脉冲星旋转得最快，诞生以后由于“灯塔”不断向外辐射而消耗自转能，使旋转速度逐渐减慢。基于这种分析，自然是年轻的脉冲星自转周期比较短，自转速度的变化也比较快。随着脉冲星年龄的不断增长，周期愈来愈长，自转愈来愈慢。最后，脉冲星的自转能耗尽，无法再看到它的“灯塔”，这颗脉冲星的寿命也就完结了。

单纯根据周期和周期的变化率来计算脉冲星的年龄，对一般脉冲星来说是行之有效的，但对于个别的脉冲星来说，也许还存在一些问题。例如，脉冲星 PSR 1952+29，用这种方法算出它的特征年龄是 36 亿年，比脉冲星的平均年龄高出了 800 倍，如此“高寿”的脉冲星是令人怀疑的。我国几位天文学家改进了计算特征年龄的方法，除了考虑自转的能量损失以外，还考虑磁场也在不断地衰减，用改进方法算出的 PSR 1952+29 的特征年龄是 640 万年，这便和其他脉冲星一致了。

此外，根据脉冲星的运动也可以估计脉冲星的年龄。目前，已经发现几十颗脉冲星在那里很快地运动，其中也包括蟹状星云脉冲星。用运动方法得出的年龄和用周期方法得出的结果是一致的。

当我们谈论天体的年龄时，有时还得注意距离在里面“捣乱”。例如，我们算出蟹状星云脉冲星的年龄是 1240 年，是不是代表它真正“现在”的年龄呢？蟹状星云距离我们是 6300 光年，那么蟹状星云上面发生的任何事情都需要经过 6300 年才能到达地球。因此，如果说蟹状星云真正“现在”的年龄，应该是 $1240+6300=7540$ 年。至于现在蟹状星云上的状况，那要等到 6300 年以后，地球上的人才能观测到。不过，在一般地讨论天文问题时，可以不必这样



认真，天体的年龄起码是以万年为单位，距离上的这点影响是可以忽略的。即使对于像蟹状星云这样年轻的天体，如果不是特别需要，只要认为我们的“现在”都是指的 6300 年的“以前”，大家也就一致了。

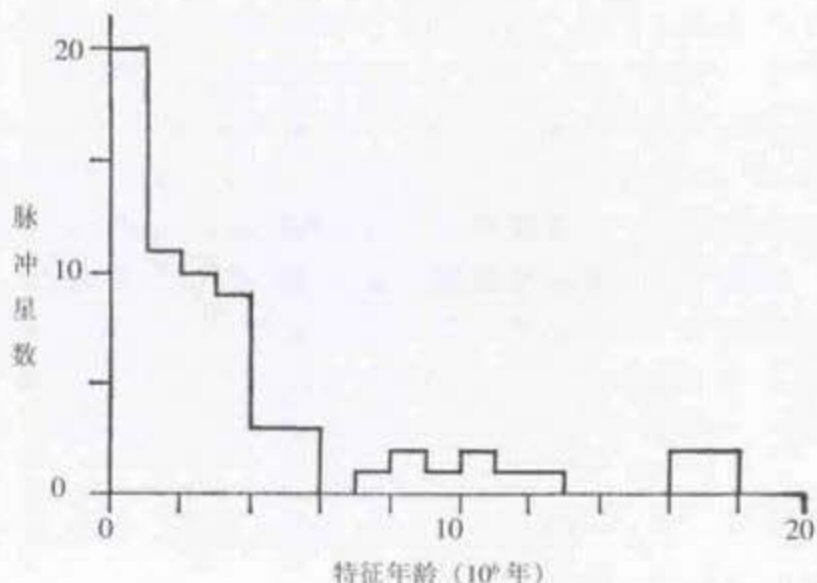
年龄和寿命还不是一回事，但是知道了脉冲星的年龄，便可以估计出脉冲星的寿命来。这和估计人的寿命的方法是一样的，只需要统计一部分人的年龄分布情况，便可以得出一个国家人口的平均寿命来。根据当时已经发现的 300 多颗脉冲星，其中有一部分只测出了周期，没有测出周期的变化率，因此，能够计算年龄的脉冲星才只有 100 多颗。图 7.5 是这些脉冲星特征年龄的分布情况，由此得出脉冲星的平均寿命大约是 4×10^6 年，即 400 万年。

明珠里的奇异世界

脉冲星发现以后，世界上立即掀起一股脉冲星热，天文学家和一大批物理学家都云集而来，大家争相开发这块“处女地”。这里犹如“奇异世界”一般，到处是与众不同的珍奇“宝藏”。这些宝藏中最使科学家感兴趣的，要数“密”字之宝了。

地球上最密的物质不外是铁、铅、金等一些重金属。但是，物理学家们心中有数，这些物质不可能是最密的，因为它们也都是由原子组成，凡属由原子

图 7.5 脉冲星特征年龄的分布



组成的物质，由于原子本身存在巨大空隙，即使把物质挤得再密，也不会把这种空隙挤掉。只有设法把电子全部打掉，只剩下原子核，才能实现理想的密物质。

原子核是由质子和中子组成，质子和中子在原子核里排列得十分紧密，它们被一种叫做“胶子”^{*}的东西紧密地“胶合”在一起。实验表明，不同元素的原子核密度基本上相同，大约是 2.4×10^{14} 克/厘米³，即每立方厘米的重量是 2.4 亿吨。在一个原子核里达到这样高的密度并不新奇，科学家们追求的“密”是要求整块的物质都达到这样的水平，也就是希望找到由纯原子核组成的物质。

中子星满足了科学家们的愿望。我们不妨先作一个粗略估计，根据中子星的自转周期 P ，容易求出中子星表面的速度 v 来，若中子星的半径是 R ，则

$$v = \frac{2\pi R}{P}$$

式中， v 的最大值不应该超过光速，即每秒 30 万千米。再把脉冲星中最短周期值 $P=0.033$ 秒代进去，便可以求出 R 的最大值不能超过 1600 千米。一颗中子星的质量和太阳的质量差不多，太阳的半径是 70 万千米，比中子星的半径大 440 倍，因此，中子星的密度起码要比太阳的密度大 $440^3=8.5 \times 10^7$ 倍。太阳的密度是 1.4 克/厘米³，所以，中子星的密度不应该低于 1.2×10^8 克/厘米³。

实际上，中子星的密度远不止此，平均说来，大约是 10^{14} 克/厘米³，即每立方厘米重 1 亿吨。中子星的平均密度比原子核的略低些，原因是中子星里除中子外，还有一些“杂质”，如质子和电子等其他粒子。中子星物质是目前人类所知道的宇宙中最密的物质，将来若能从太空中采回一些中子星物质，哪怕只有一颗花生米的大小，质量便可达 1 亿吨，人们需要派 200 艘 50 万吨级的轮船去迎接，每艘轮船上只须装载芝麻大小的一块中子星物质便满载而归了。

知道了中子星的密度和质量，可以求出中子星的大小来。中子星的大小从几千米到几十千米，平均半径大约是 10 千米。在星体家族中，10 千米半径的星体实在是小得可怜，地球的半径还有 6400 千米，甚至还不如飞行在太阳系里的一些碎石头（小行星）来得大。可是，如果反过来，把地球也压成中子

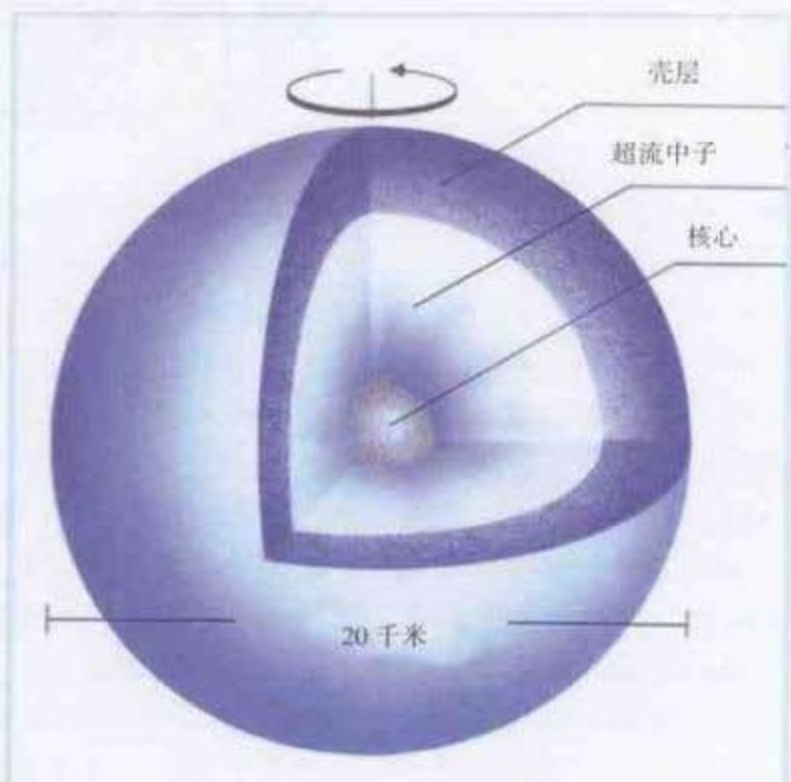
^{*} 胶子——也是一种基本粒子。原来只是理论上的猜测，美籍华人物理学家丁肇中领导的实验室给出的实验结果表明，胶子是肯定存在的。

星，它的半径便只有 0.1 千米了。

假如一个人站在中子星上，刹那间将被挤压成肉饼，这是因为中子星表面的重力加速度太大了。知道了中子星的半径和质量，便可以求出中子星上面的重力加速度，其结果是地球表面重力加速度的 10^{11} 倍。一个人站在中子星上，相当于在他身上压了一块其体重 10^{11} 倍的大石头，怎么能承受得了呢？按照牛顿定律，重力等于质量乘重力加速度，如果把我们这本书放在中子星上面，它的重力也会有几百万吨！不仅如此，中子星周围还有强大的潮汐力*，大概等不到着陆，强大的潮汐力早已经把入撕碎了。中子星真是一个危险的“魔星”，只能让理论家和计算机去对付它吧！

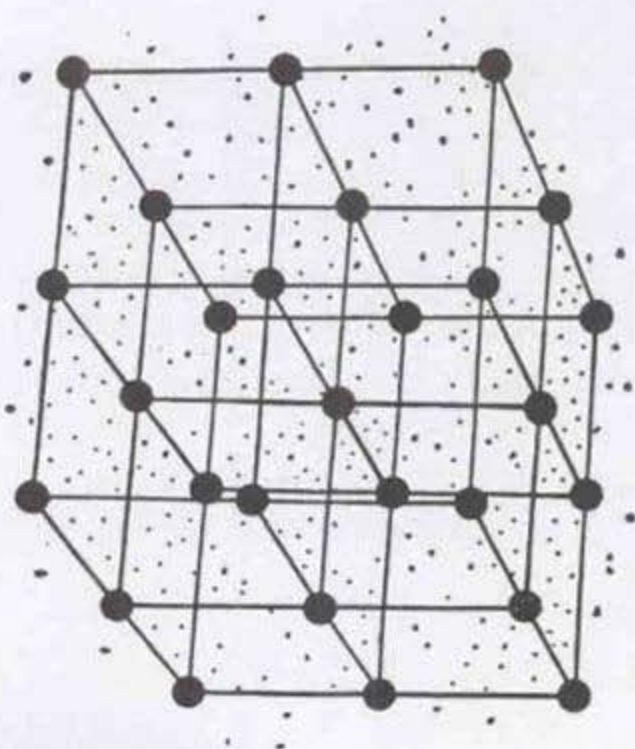
理论家不仅掌握了中子星的表面情况，还把它解剖开来。图 7.6 是一张中子星的内部结构图，这个模型是假定了中子星的质量是 1.33 个太阳质量计算出

图 7.6 中子星的内部结构



*潮汐力由万有引力引起，它能使物体向相反的方向拉开。星体周围都有潮汐力存在，例如，由于月球潮汐力的影响，会使地球上的海水产生潮汐现象。

图 7.7 中子星外壳的体心立方晶体结构。框架由原子核搭成，电子在中间自由分布



来的。从这张图可以看出，中子星的内部是分为一层一层的。

最外面一层是固体的壳，叫中子星的外壳。外壳的厚度很薄，只有 1 千米左右。这一层的密度增加得很快，由最表面的每立方厘米 10^6 克很快增加到 4.3×10^{11} 克。外壳主要是由铁组成，只是铁原子周围的电子已经被打掉了。

中子星的表面温度有几百万度，比太阳的表面温度高出几百倍。太阳已经是炽热的气体，中子星的表面为什么还能是固体呢？原因就出在这个“密”字上。在这样高密度的情况下，原子结构被压碎了，原子核周围的电子被剥光了，这样的原子核被称为裸原子核。这些裸原子核失去负电子的保护，都显示出正电性，同性电相互排斥，你推我，我推你，但由于密度太大，谁也推不动谁，最后大家只好排列得整整齐齐，这样便形成固体，一种晶体结构的固体。

中子星的外壳之下是中子星的内壳，这里的密度继续增加，压力继续增大，强大的压力开始将电子压回到原子核上，电子和质子结合，形成中性的中子。原子核里每压回一个电子，便中和掉一个质子，增加一个中子。因此，质子的数目不断减少，中子的数目不断增加。这一层仍保持着固体状态。也有人把内壳和外壳合起来叫做中子星的外壳，前面谈到的“星震”现象就是发生在这一层里。

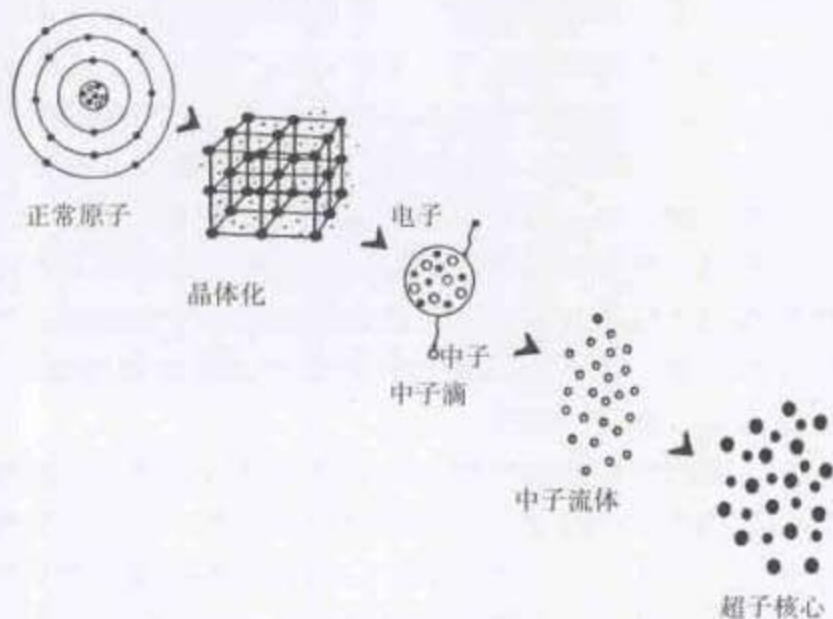
再往里去，密度继续增加，开始出现新的变化。由于原子核里的中子愈积愈多，里面开始容纳不下，多余的中子像滴油一样从原子核里不断滴出来，叫做“中子滴”。滴来滴去，最后导致原子核瓦解，整个变成一片中子的海洋，固体变成流体。中子海洋里掺杂着少量的质子和电子，这里开始出现一系列奇迹，中子是超流的，质子是超导的……

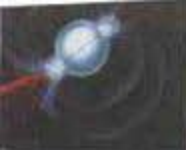
中子星的核心部分的密度超过原子核的密度，这里的状态究竟是怎样的，目前的看法还不一致。有人认为会重新凝结成固体，也有人认为仍是流体。但是，有一点看法是一致的，这里不再是中子的海洋，开始出现新的基本粒子，包括各种比中子和质子更重的超子，正是由于这些新粒子的出现，才使得物质密度超过原子核。中子星里居然能形成超原子核的物质，这不能不说是“奇异世界”吧。

图 7.8 是将上述各个过程综合起来，说明中子星从外部向内部物质的演化过程。

在中子星里，除了超高密度以外，还有超高温、超强压力、超强磁场……总之，这里一切都是“超”字号的。拿磁场来说，蟹状星云的平均磁场强度是万分之一高斯，这已经比星际空间的磁场提高了 100 倍，而蟹状星云脉冲星的磁场强度却高达 10^{12} 高斯，即 1 万亿高斯，这也是目前已知恒星的磁场中最强的。脉冲星正是靠了这样的超强磁场，才使带电粒子从磁极处喷射出

图 7.8 中子星从表面向核心物态的变化





来，形成两个强大的“灯塔”。对于蟹状星云脉冲星来说，喷射出来的高能粒子除了供“灯塔”照明之外，还要供给蟹状星云巨大的能量消耗。

“第五态”

在通常情况下，物质都是以三种可能的状态存在：气态、液态和固态。后来又发现第四态——等离子体态，等离子体态指处于电离状态的物质，一般的恒星大气都是处于等离子体态。最近，又有人提出“第五态”。第五态是指密度极高的状态，也就是超密态。第五态目前仍处于探索阶段，还没有被确切地肯定下来。

第五态来自恒星内部的研究，首先是白矮星。白矮星有许多和中子星类似之处，可以说和中子星是一对兄弟，它的内部也没有了核能源，密度也很高，每立方厘米有1吨到几十吨重，仅次于中子星。自从这一对“兄弟”发现以后，许多人开始专门研究在极高密度情况下的物理状态，在物理学和天文学之间逐步形成了一门新的跨学科分支——密物质物理学，或者叫超密态物理学。

在超密态状态下，物质表现出许多奇异的性质。首先是抗衡外界压力的能力大大提高，无论是白矮星，还是中子星，由于星体自身的引力会对内部施加极高的压力。在中子星内部，这种压力可以达到 10^{28} 个大气压，即1万亿亿亿个大气压。为了抗衡这种压力，星体内部的物质必须能够产生同样大的向外的压力，否则，星体将被压垮。这好比是一个气球，气球本身收缩产生向内的压力，气球里的气体也产生向外压的气体压力。当两种压力达到平衡时，气球便稳定在那里，不收缩，也不膨胀。实验告诉我们，气体产生的压力大小是与密度的一次方成正比。对中子星来说，内部充满的是中子流体，也可以看作是中子气，但是它产生压力的本领却完全不同，不再是和密度的一次方成正比，而是和密度的 $5/3$ 次方成正比，也就是说，差不多提高一个方次。这样一来，密度每增加一点，产生的抗衡外界的压力将会成倍地增加。正是靠了这种本领，中子星才得以维持在那里。

产生这种物理规律的改变也是由密度引起的。在超密态条件下，每个中子的活动范围受到了限制，大家都必须处在某一个能量状态以下，物理上将这种状态叫做简并态。在简并状态下，所有的中子都萎缩到能量很低的状态，这时中子和中子之间会产生某种联合的力量，从而提高抵抗外界压力的效能。



在中子星内部出现的另一个奇迹是超流。普通的流体，都具有黏滞性，黏滞性也是一种摩擦力，它会阻碍流体的流动。所谓超流，是指没有任何黏滞性的流体，一旦流动起来，就会畅流无阻，长期地流下去。在超密状态下，中子有可能结成一对一对的粒子，成对粒子和单个粒子在物理性质上有很大不同。成对中子不再受任何限制，都可以跑到能量最低的状态。既然都处于能量最低的状态，在运动过程中，谁也没有多余的能量提供出来。因此，在运动中也不会消耗任何能量，没有能量消耗的运动，便可以无休止地运动下去，这样便形成超流。

懂得了超流的原因，就容易理解超导现象了。超导是指没有电阻的导体，电流一旦接通，便长期地有电流流通。在中子星里，除了大量的中子以外，还有带电的质子。质子也可以类似中子那样组合成一对一对的质子对，从而实现超流。质子对都是带电的，带电的超流便是超导。

在地球上，超导和超流现象虽然都已经实现，但要求的条件很严格，只有在温度极低的情况下才能做到。超导要求冷却到绝对温度 20 度以下，而超流要求的温度更低，需要接近绝对零度，即摄氏零下 273 度附近。超导和超流不仅具有重要的理论意义，而且具有重要的实际价值。用粒子对概念解释超导现象的三位物理学家——巴尔定、古柏和施莱佛曾因此获得诺贝尔奖。

“奇异世界”的大门刚刚打开，进一步探索奇异世界的奥秘正方兴未艾。

8 天蟹是怎样诞生的

人总有一定的寿命，只有聪明的“傻瓜”才去追求长生不老。不要说人，连天体也不能例外，生、老、衰、死，这是自然界固有的规律，只不过天体的寿命更长些罢了。蟹状星云是年轻而又年轻的天体，也已经“生活”了 900 多年，如果再追溯它的过去，那就要用亿年来计算了。面对如此漫长的时间长河，天文学家绝不能在那里坐等天体的自然演变，只能运用巧妙的推演方法，探索过去，展望未来。

星星大爆炸

有幸看到星星爆炸的人实在太少了。

根据星星爆炸的规模，天文上称之为新星和超新星。银河系里出现新星和超新星的机会本来就不多，加上又分布在四面八方，因此，用肉眼看到的只是发生在地球附近的寥寥可数的几颗。

西方纪录到的第一颗新星是在公元前 134 年，叫做伊巴谷新星，以希腊天文学家伊巴谷的名字来命名。伊巴谷看到的这颗新星，在我国《汉书·天文志》上也有记载：“汉元光（汉武帝）元年六月客星见于房”。这里的房指房宿，相当于现在的天蝎座。其实，我国关于新星的记载远不止于此，最早可追溯到公元前 1300 年，从殷代出土的甲骨上已经有记载，图 8.1 是其中的一片甲骨卜辞，上面刻着：“七日己巳夕 新大星并火”，这句话的意思是：“月之七日（即己巳日）晚上，有一颗巨大的新星和大火（即天蝎座 α ）同时出现”。古时新星

就称作新星，汉代中叶以后，才将新星改称客星。这次记载的可能是一次超新星爆发。这颗超新星与蟹状星云的情况类似，它所在的位置上，现在也发现了一个射电源，编号为 2C1406。

新星和超新星虽然都是星体爆发现象，但其规模却有很大不同。新星爆发时，亮度的增加幅度大约是 5 万倍；而超新星爆发时，亮度可以猛增几千万倍。一颗超新星爆发，发出的光相当于 $10^7 \sim 10^{10}$ 个太阳的光，按能量计算，释放的能量大约是 $10^{47} \sim 10^{51}$ 尔格，等于一个星系所发出的光的总和。

超新星爆发是恒星世界里最为猛烈的爆发现象。可以想象，一颗星爆发，发出的光居然和整个银河系一样亮，这种爆发规模将是何等的壮观！距离我们 6300 光年的天关客星，在二十几天的时间里白天都可以看到，晚上看到的时间达两年之久，正是在这样规模的爆发下才产生了天蟹里的明珠。目前认为，任



图 8.1 世界上最早的新星记录。这片甲骨的年代大约在公元前 1300 年，从左到右的文字是“七日己巳夕 新大星井火”

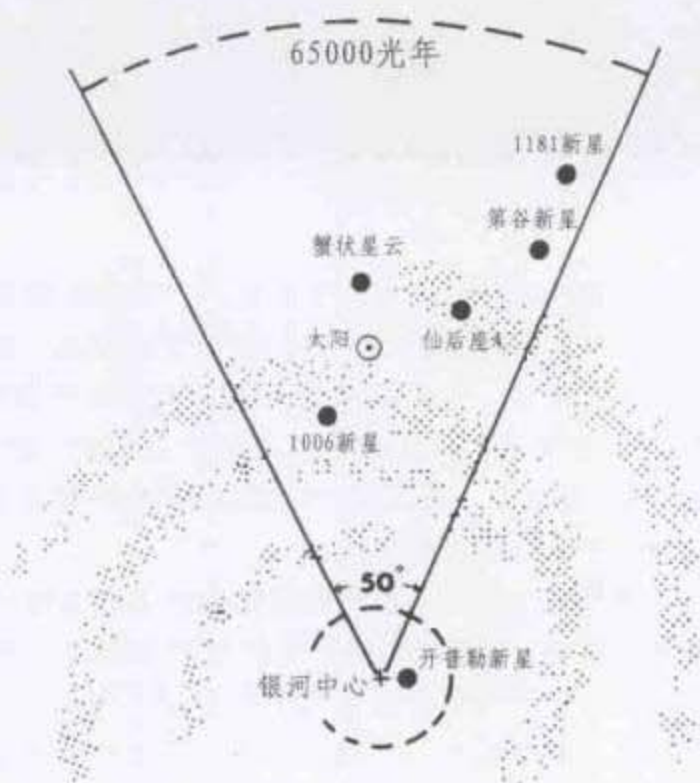


图 8.2 银河系里看到的超新星爆发的位置



图 8.3 星系 IC 4182 中的一次超新星爆发

何其他途径都难以造就一颗中子星，只有超新星爆发是唯一的途径。

天文学家把有史以来记录到的新星现象逐一做了详细分析，从中辨认出哪些是属于超新星。分析的结果，最后被肯定下来的总共才有 7 次，图 8.2 是其中 6 次的位置分布，另外一次（公元 185 年）由于位置不清楚没有标在上面。从图中可以看出，我们看到的超新星基本上都在太阳附近，由于星际介质的遮挡，远处的往往不容易看到。

有两次超新星爆发正好被两位历史上著名的天文学家看到了。一次是 1572 年的第谷新星，一次是 1604 年的开普勒新星。中世纪的欧洲正是宗教统治的黑暗时代，在那时当一名天文学家也很不容易，除了观测天象以外，还必须替帝王算命。第谷还专门学过占星术，因此很受丹麦王腓特立二世的赏识，资助他建立了一个规模相当大的“观天堡”（即天文台）。图 3.3 是第谷当年在观测时的情形。后来，丹麦王去世了，他只好投奔迷信占星术的奥国皇帝卢多耳夫二世，到那里不到两年就死去了。他的学生开普勒接替他的工作，继续充当御前天文学家。开普勒为了维持生活，更是终生为人占星算命，尽管他本人并不相

信这一套，但为了糊口，不得不这样做。这两次超新星爆发的出现，倒是为他们提供了莫大的算命的好素材。

根据历史上七次超新星爆发时间的分析，差不多每隔 100~300 年出现一次。最后一次是在 1604 年，被称为开普勒新星^{*}，开普勒新星距现在已经 400 年了。根据这种推算，最近应该再看到一次超新星爆发。有人甚至建议，天文台应该及早做好准备工作，免得错过爆发的最初时刻。如果真是这样，我们这一代人也许有幸欣赏一次星星大爆炸的壮观奇景。

鉴于银河系里超新星爆发的现象十分罕见，使用望远镜以来连一次都没有观测到，天文学家只好把注意力转向河外星系。宇宙间类似银河系的星系数以亿计，到哪里去搜寻超新星，是一项艰巨的工作，犹如大海捞针一般。为此，国际上组织了联合观测，先后有 14 个天文台参加。即使如此，从 1885 年到 1978 年，在近百年的时间里，总共才发现 491 颗超新星。其中，有几次观测十分成功，看到了超新星爆发的整个过程，例如，在星系 IC 4182 中发现的一颗超新星，从爆发时的亮度最大，到亮度变暗，一直到最后消失，都清晰地拍摄了下来（图 8.3）。在图 8.3 中，逐天记录下了超新星爆发后亮度的变化。图中，寄主星系就是超新星所在的星系，可以看出，超新星比它所在的整个星系都明亮得多。整个超新星爆发持续了 160 天才完全消失。说不定，在超新星的位置上又形成了一颗新的中子星。图 8.4 是另一个典型的恒星爆发事例，该照片拍摄于 1949 年，据推算，这颗星爆发于 1901 年。

根据对超新星爆发过程的分析，一般把超新星分为两种类型：Ⅰ型超新星和Ⅱ型超新星。两类超新星的光变曲线明显不同，从图 8.5 可以看出，Ⅰ型超新星的特点是亮度陡增，初降很快，然后慢慢变暗；Ⅱ型超新星的特点是爆发后光变曲线上出现一个“驼峰”，然后再慢慢暗下。我国天文学家，紫金山天文台研究员王德昌根据史书上对天关客星的描述，对爆发期间的光度作了估算，得出这次超新星爆发的光变曲线（图 8.6）。将天关客星的光变曲线与标准型光变曲线进行比较，它显然属于Ⅰ型超新星。

到了 20 世纪 80 年代以后，超新星的研究日益受到重视。其中，一个重要的原因是，超新星不仅可以用来研究恒星的演化和各种强物理过程，更重要的一点是，超新星还可以用来作为“标准烛光”，标准烛光的含义是：超新星在爆

^{*} 在开普勒新星之后，证实了还有一次，大约在 1670 年，由于星际介质遮挡，肉眼没有看到。

图 8.4 一幅典型的星星大爆炸的照片



图 8.5 典型的超新星爆发 (I 型和 II 型) 过程的光变曲线

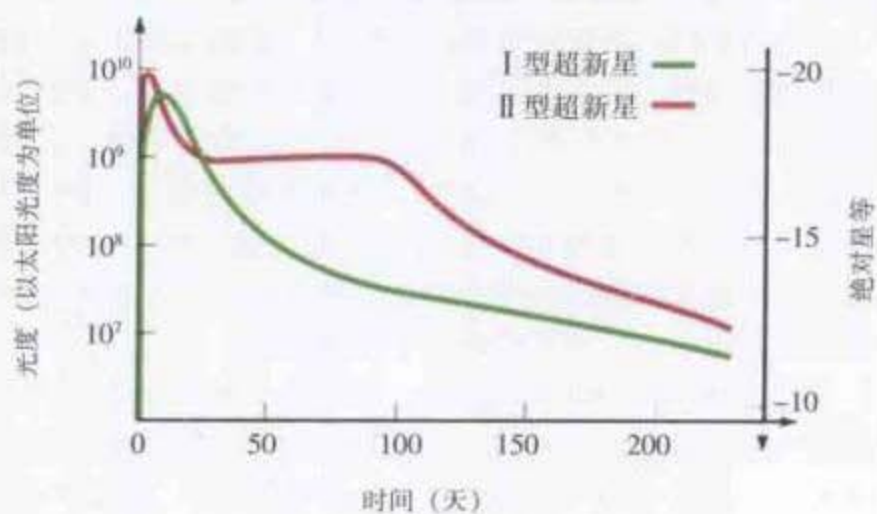
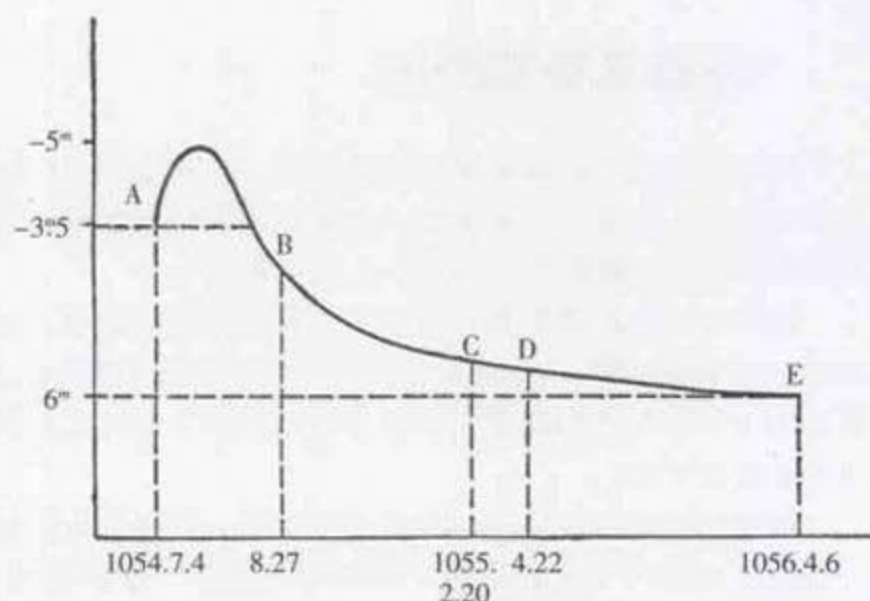


图 8.6 天关客星的光变曲线 (根据史料记载估算出来的)



发时,其最大光度是一定的。这样一来,我们可以利用超新星来定出河外星系的距离。只要在河外星系中发现超新星爆发,抓住它爆发的极大时刻,它的光度就是固定的了。观测再给出它的视亮度,根据固定的最大光度和视亮度的差别,其距离便可以测定出来。由于用超新星定距离是完全独立的,受其他因素的影响很小,因而受到广泛重视。世界上许多天文台重新修订了自己的观测计划,拿出许多时间去寻找超新星,尤其是要定出超新星爆发的极大时刻。在短短的 20 年内,发现超新星的数目成倍地增加。截止到 2003 年,总数在 2500 颗以上。在利用超新星测定距离的同时,还连带探讨了有关宇宙学的许多问题。

在我国,虽然有着辉煌的历史记载,但近代天文学的研究显然是大大落后了。落后了就要追赶,我国最大的光学望远镜于 1989 年正式投入观测,其口径为 2.16 米。望远镜运转之后就立即开展了对超新星的研究,首先观测了 SN 1993J,即 1993 年发现的第 J 颗。这是将发现顺序按英文字母排列,SN 即超新星的意思。这颗超新星的光谱很特殊。从此,北京天文台便开展了对超新星的巡天观测工作,也就是去发现自己的超新星。我们的设备水平虽然比不上国外,但功夫不负有心人,通过对巡天软件系统的改进,已经成功地发现了 30 多颗超新星。其中的一些超新星还表现不凡,具有一些崭新的特性,受到了国际上的重视。

一张意义重要的图

蟹状星云是一次超新星爆发的产物，在此之前，它还经历过一段漫长而又漫长的道路。如果用人来比喻，超新星爆发时已经到了人的风烛残年。我们现在想要了解的是蟹状星云的童年、青年和壮年。

在研究恒星的漫长演化历程中，有一张曾经起过、现在还在起着重要作用的图，叫做赫罗图，也常写作 H-R 图。它是取自两位天文学家名字的字首，荷兰天文学家赫茨伯隆和美国天文学家罗素。为了了解恒星的演化过程，必须首先熟悉赫罗图。

赫罗图的纵坐标代表恒星的真实亮度，横坐标代表恒星的温度。只要知道一颗恒星的这两个物理参量，就可以按纵横坐标的位置点在赫罗图上。图 8.7 是用我们周围的恒星点出来的。

我们看到天空中的恒星，有亮有暗，但这种亮暗并不代表恒星的真实亮度，它仅仅表示恒星的视亮度。太阳仅仅是一颗普通的恒星，因为距离我们最近，它就好比天上任何恒星都亮。月亮仅仅靠反射太阳的一点光，但月亮一出来，满天的星斗都要退让。可见，要比较恒星的真实亮度，需要把恒星放在同一个距离上。目前统一规定，都把恒星放在 10 个秒差距（32.6 光年）的距离上进行比较。天文上用星等表示恒星的亮度，视亮度用视星等来表示，记作小写的 m ，真实亮度用绝对星等来表示，记作大写的 M 。绝对星等也就是把恒星放在 10 个秒差距上的视星等。我们比较一下三颗典型的恒星，便对这两个概念一目了然：

	视星等 (m)	绝对星等 (M)
北极星	+2.30	-4.60
天狼星	-1.45	+1.41
太阳	-26.74	+4.83

星等的数值愈大，表示星愈暗。星等值相差 5，它们的亮度相差 100 倍。我们用肉眼在天空中最多能看到 6 等星，总量也不过 6000 多颗。对于一个人来说，只能看到 4000 多颗，因为你不可能看到整个天空。从上面的数字可以看出，太阳的真实亮度既不如天狼星，更不如北极星。显然，只有真实亮度才能反映恒星的本质，因此，赫罗图上的纵坐标便采用代表真实亮度的绝对星

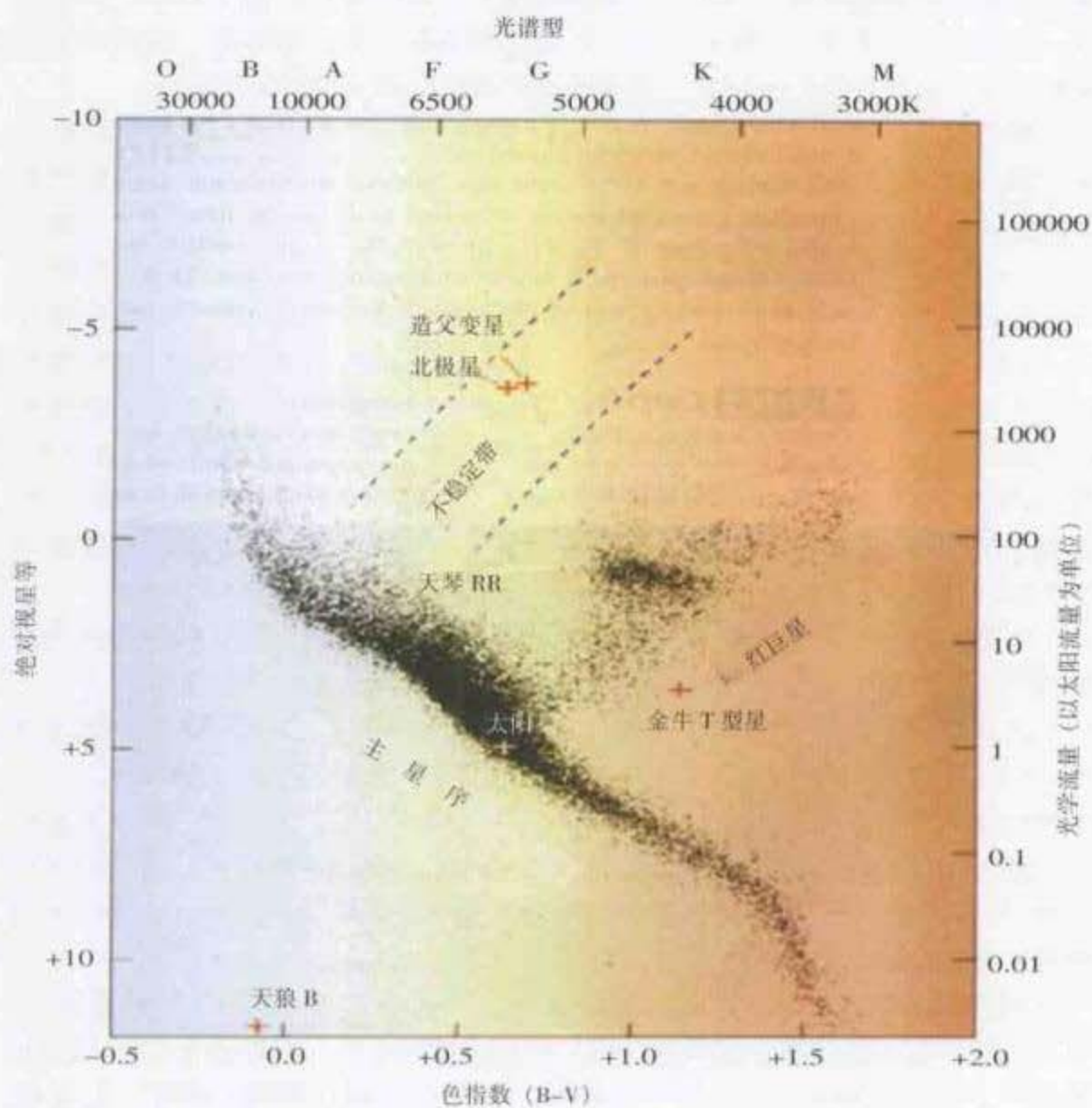


图 8.7 赫罗图，上面的每一点代表一颗恒星

等。习惯上，也常把恒星的视亮度叫做亮度，真实亮度叫做光度。

恒星的顏色彼此很不相同，只要用肉眼細心观察，也能发现这一点。例如，天狼星的顏色发白，心宿二（天蝎座 α ）的顏色发红。由于心宿二顏色发红，才被取名“大火”。每年，当大火在傍晚出现于东方的时候，刚好到了播种的季节。据《左传》上记载，当时还设“火正”官，专门管大火。

确切表示恒星的顏色是用光谱，国际上统一规定，按恒星的光谱把恒星分为7种光谱型，分别用大写字母O、B、A、F、G、K、M来表示。这个顺序也是顏色的顺序，温度越高顏色越发蓝白色，因此，光谱型的顺序对应于从蓝色到红色。别看太阳那么耀眼夺目，实际上它是一颗主体顏色为黄色的G型星。

顏色反映了恒星的温度，所以光谱型序列OBAFGKM也是一个温度的序列。最热的O型星表面温度可以高达40000度，最冷的M型星才3000度左右。太阳的表面温度是6000度，正好排在当中。由此可见，赫罗图的横坐标用光谱型表示，实质上代表的是恒星的表面温度。为了说清楚恒星的光谱型，我们把每一种光谱型给出一颗典型的恒星。上下标出了光谱中的各种谱线。对于高温星来说，谱线比较稀少。在低温星中，还可以出现分子谱线，表明大气中存在着许多分子。

当把天上的恒星点到赫罗图上去以后，发现它们在赫罗图上的分布并不是杂乱无章的，而是颇有條理地按组排列，每一组都代表着一大类恒星。

大多数恒星都分布在从左上角到右下角的一条斜带上，这条斜带叫做主星序。位于主星序上的星叫做主序星。靠右上方的一片是巨星区，顾名思义，大个的恒星都位于这里。如果分得再细点，巨星还可以分为亚巨星、巨星和超巨星，超巨星位于最上方。在超巨星区域还可以细分出顏色偏红的，称为红超巨星或红巨星。赫罗图的左下方还稀疏地分布着一群白矮星。巨星、主序星和白矮星，这便是赫罗图中最主要的三群星。

赫罗图是在20世纪初提出来的。不久，天文学家就注意到了它的重要性。恒星在赫罗图上的分布，深刻地反映了恒星的物理性质。对照图8.7可以看出，赫罗图上方的星都是亮星，属于亮星的，既有O型和B型的主序星，又有G、K、M型的超巨星，前者是由于温度高而亮，后者虽然温度低，但由于体积大仍然亮。这说明恒星的光度取决于两个物理参量：温度和表面积。再者，属于同一个光谱型的恒星，例如A型星，表面温度都在10000度左右，但主序星的A型星高高在上，白矮星的A型星却跑到几乎最低层。由此可以判断，白矮星

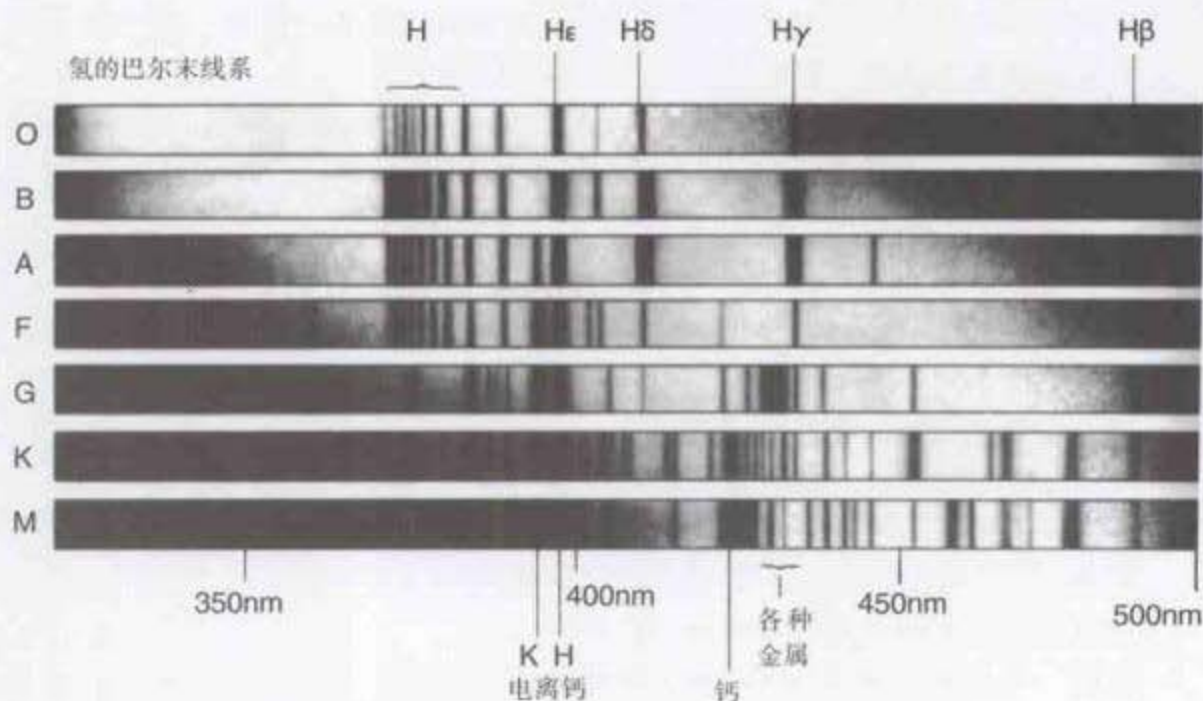


图 8.8 各种光谱型恒星的典型光谱，上下标出了一些典型的谱线和相关的波长

的体积一定非常小。

的确，白矮星的大小和地球差不多，可是它的表面温度却很高，看上去颜色发白，故取名白矮星，意思是白色的矮子。白矮星不仅本身特殊，在赫罗图上的位置也很特殊，它很不合群，孤零零地跑到最下角。这件事引起天文学家们的注意，是不是白矮星诞生以来就躲在那里呢？经过研究发现，那里仅仅是老年恒星的居住地，只有演化到晚期的恒星才跑到那里。原来，恒星在赫罗图上的位置都不是固定的，随着年龄的增长不断改变。赫罗图揭示了恒星的演化，寻找恒星的演化过程，实际上就是寻找恒星在赫罗图上所走的路线。

我们感兴趣的天蟹当然也不例外，也是按着赫罗图上规定好的路线一步一步地走过来的。

从一团浑沌开始

人类最早对宇宙的看法，大都认为天地是从一团浑沌的气体中产生的。著

名爱国诗人屈原在《天问》中曾概括了古人对宇宙的看法，这是一篇寄寓着诗人悲愤情感的著名诗篇，我们仅将开头的几句抄录下来：

“曰：遂古之初，谁传道之？上下未形，何由考之？冥昭瞢闇，谁能极之？冯翼惟像，何以识之？明明闇闇，惟时何为？阴阳三合，何本何化？圜则九重，孰营度之？惟兹何功，孰初作之？”

翻译成白话是*：

“请问，关于远古的开头，谁个能够传授？

那时天地未分，能根据什么来考究？

那时是浑浑沌沌，谁个能够弄清？

有什么在回旋浮动，如何可以分明？

天底的黑暗生出光明，这样为的何故？

阴阳二气，渗合而生，它们的来历又在何处？

穹隆的天盖共有九层，是谁动手经营？

这样一个工程，何等伟大，谁个是最初的工人？”

动手营造宇宙工程的是“自然”，具体描述天体演化过程的是天文学家。恒星正是从一团气体演化来的，所谓一团气体，也就是一团星云。宇宙间的星云有大有小，有疏有密，并不是所有的星云都可以形成恒星，而是必须具备一定的条件。星云的质量需要在1000个太阳质量以上，密度应达到每立方厘米至少有10个原子，相当于 10^{-23} 克/厘米³，温度需要很低，不能高于零下173摄氏度，化学成分主要是氢。从目前对银河系内各种星云的观测，满足这些条件的星云数目是相当多的。

满足上述条件的星云气团也不是都能形成恒星的，必须由于某种原因使这团气体脱离静止状态，由静到动，开始进行收缩。如果再进一步追问这里所说的“某种原因”是什么，便会遇到牛顿当年遇到的同样问题。牛顿提出万有引力定律后，成功地解释了地球和其他行星绕太阳的运转规律。可是当他试图进一步解释行星最初为什么会动起来时，便遇到“无法克服”的困难，最后只好求助于上帝在开始时推它一下。那个时代的牛顿的确很难找到答案，凡属天文上的这类根本问题，都不能用简单的形而上学的观点来回答，需要用辩证唯物主义的观点来理解。根据辩证唯物主义的看法，静止是相对的，运动是永恒

*译文引自郑文光著：“中国天文学源流”，35页，科学出版社，1979年出版。

的，无须上帝去推，物质本来应该处在不断运动的状态之中。

当这样一团气体开始收缩之后，会不停地收缩下去，原因是气团愈收缩，质点聚得愈密，彼此之间的引力也愈大。当然，收缩的同时也会产生斥力，斥力是由质点热运动的气体压力所造成的。气体压力的大小取决于温度和密度，我们要求起始的温度很低，正是为了减小斥力。密度与引力和斥力都有关系，在上述的条件下，密度提高时，引力的增加会比斥力的增加来得快。

恩格斯说：“一切运动的基本形式都是接近和分离、收缩和膨胀，——一句话，是吸引和排斥这一古老的两极对立。”^{*}恩格斯的话击中了天体演化的要害，整个天体演化过程讨论的核心问题就是吸引和排斥，这两者既是对立的，又统一在同一个天体上。当引力和斥力相等时，天体处于平衡状态；当一方大于另一方时，天体便失去平衡，就开始收缩或者膨胀。

收缩的初期，引力远大于斥力，是一个快收缩过程。收缩会产生热量，当中心密度达到 10^{-13} 克/厘米³ 时，气体的不透明度增加，产生的热量不容易散开，中心温度开始不断提高。当收缩到一定程度时，由于中心温度的提高，引起剧烈运动，大云团会碎裂成许多小云团，一块块小云团开始形成恒星的雏形，它们被称为原恒星或恒星胎。形成原恒星的整个过程是一个引力势能转化为热能的过程。

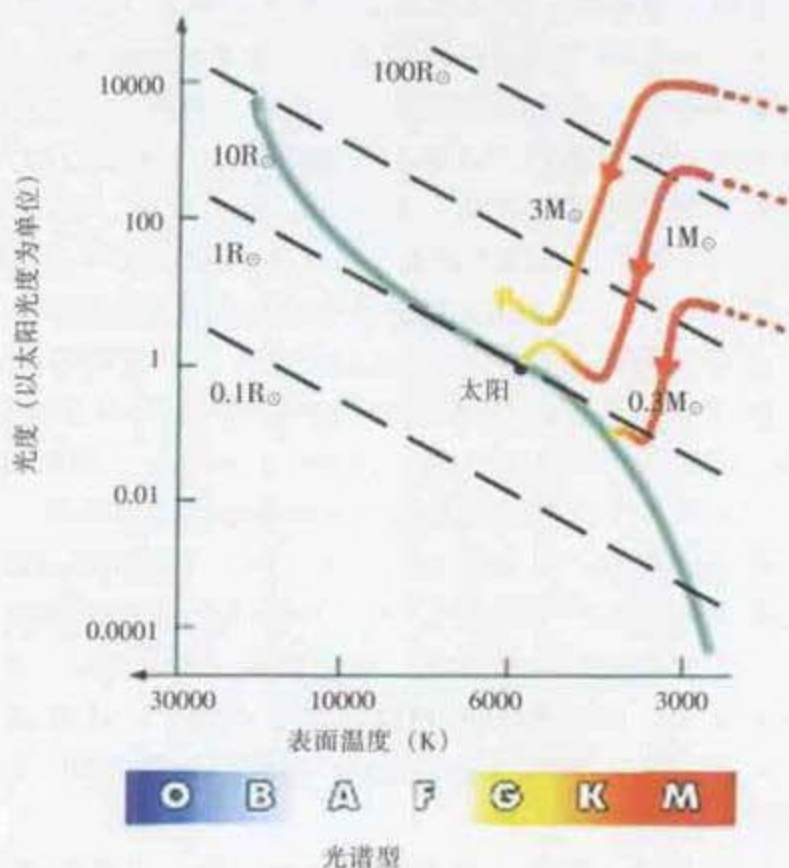
原恒星继续收缩，内部温度继续增加，当温度达到摄氏 500 万度左右时，核心开始出现热核反应。这是一个质的变化，热核反应一旦发生，便宣告一颗恒星诞生了。刚诞生的恒星还不太稳定，仍会慢慢收缩，当核心温度达到 1500 万度时，热核反应大规模地进行，星体不再收缩，开始了在主星序上的长期生活。

不同质量的原恒星沿不同的路线进入主星序（图 8.9），质量大的原恒星变为比较热的早型星，质量小的变为比较冷的晚型星。图中给出了三条演化路线，一条是由 3 个太阳质量（ $3M_{\odot}$ ）的星云演化，另 2 条分别是 1 个太阳质量和 0.3 个太阳质量的星云演化。这些演化曲线是由日本著名天体演化专家林忠四郎计算的，故又称为林忠四郎线。图中给出了主星序的位置，同时给出了各类恒星的大小，也是以太阳的半径 $R_{\odot}$ 为单位。

一颗原恒星需要经历多长时间才能进入主星序，这 and 原恒星的质量有关。

^{*}《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版，55 页。

图 8.9 由一团星云气体逐步凝聚成一颗颗恒星



对于和太阳质量差不多的原恒星，大约需要 5 千万年。如果比太阳的质量大 9 倍，则只需要 2 千万年。反之，如果只有太阳质量的十分之二，则需要 6 亿年左右。总之，质量大的原恒星演化得快，质量小的原恒星演化得慢。这段时间拿来和人类的历史相比，已经是十分漫长的了，但对于天体来说，这才刚刚度过了它的童年时代。

在恒星形成过程中，有一个物理参数相当重要，这就是自转。我们已经知道，宇宙中的所有天体都存在着自转。因此，形成恒星的星云也不例外，同样也存在着旋转。旋转形成的角动量在恒星形成过程中不会自行消失。旋转力对物质的影响相当于斥力。因此，引力收缩除了和气体压力的斥力平衡以外，还必须加上旋转力的斥力。旋转力的斥力集中在旋转平面上，旋转轴的上下部分离心力很小。这样，恒星在形成过程中，先是呈现出一个扁盘，像铁饼似的。多余的角动量有时被抛射出去，便有可能形成围绕恒星的行星系统。我们的太阳系很可能就是在太阳本身形成过程中同时产生的。



图 8.10: 巨蛇座鹰状星云 M16

图 8.10 是哈勃空间望远镜新近拍摄的巨蛇星座中的鹰状星云 M16。M16 距离我们 7000 光年。星云中有很多的凝聚区，正是恒星的诞生地。这幅图仅显示了整个星云的中心，一个个顶立在太空中的玉柱，又像是海底动物一样。该照片被评为 20 世纪最精美的十大天文图片之一。正是在这巧夺天工的美丽星云中，一颗颗恒星正在那里形成着。

主星序上长期安家

进入主星序，标志着恒星童年时代的结束，开始了成年的生活。恒星一旦进入了主星序，便长期稳定在那里，度过恒星一生中大部分的时间。

恒星进入主星序以后，核心部分开始大规模热核反应。热核反应产生巨大能量，同时增加内部向外的压力，使斥力和引力达到平衡，星体便停止收缩。

人类真正认识到恒星的诞生经历了漫长的时间。上个世纪初，以原子物理为代表的近代物理学逐步形成。但有一个问题始终困扰着物理学家，这就是为什么太阳总在那里发光？把所有可能的物理的和化学的反应都考虑进去，能够维持的时间总是有限。到了20世纪的20年代，人们计算了只要太阳慢慢收缩，将引力势能转化为热能，就可以维持很长的时间。按目前太阳的发光标准，至少可以维持 3×10^7 年，即3000万年。但是，对于恒星来说，这样长的时间仍然是太短了。直到1929年，英国天文学家求助于爱因斯坦，才指出了热核反应是唯一的维持恒星能源的机制，也是恒星诞生的标识。

主星序阶段进行的热核反应是氢聚变为氦的热核反应，四个氢原子核聚合在一起，形成一个氦原子核，同时释放出大量的能量。在通常情况下，这种反应很难实现，原因是氢原子核都是带正电的，它们之间彼此相斥，无法聚合。可是，形成恒星之后，其核心的温度高达1500万度以上，这时每个氢原子核的热运动能量非常高，一个高速运动的氢原子核可以冲破“障碍”，硬是撞到另一个氢原子核上，这样撞来撞去，最后形成质量更大的氦原子核。由于氢原子核本身就是一个质子，因此，氢聚变为氦的热核反应，又叫做质子-质子反应。

质子-质子反应的主要反应过程有三步，可以写成下面的反应方程式：



上式中，H代表氢，He代表氦，左上角的数字表示原子量，即原子核里的质子数和中子数之和。如果把三个反应方程式联合起来看，则是4个氢原子核(${}^1\text{H}$)生成一个氦原子核(${}^4\text{He}$)，同时释放出中微子、光子和正电子。正电子很快和负电子中和，也变成光子。我们看到夺目的太阳光就是这样产生的。

除了质子-质子反应以外，氢聚变为氦的热核反应还有一种途径，是通过碳和氮作为催化剂来进行的，所以叫做碳氮循环。对于核心温度比较高的早型星（O、B、A型星），碳氮循环起主要作用。对于太阳来说，碳氮循环产生的能量只占百分之四左右。

无论是质子-质子反应，还是碳氮循环，都是4个质子合成一个氦核，这种反应的产能率是很高的。历史上曾经对太阳的发光原因做过各种猜测：燃烧、化学反应、引力收缩……但是都一一失败了，原因是任何一种反应都无法维持长久。到了1938年，才肯定热核反应是唯一可行的。原来，当4个质子合成1个氦核时，会出现质量亏损，1个质子的质量是1.00728，1个氦核的质量是4.0015，因此反应后的质量亏损 m 应当是

$$m = 4 \times 1.00728 - 4.0015 = 0.0276$$

这里用的单位是原子质量单位，1个原子质量单位 $=1.6606 \times 10^{-24}$ 克。不难算出，合成一个氦核损失掉 4.6×10^{-26} 克。

亏损的质量转换成能量，这种转换关系是通过著名的爱因斯坦关系来表示

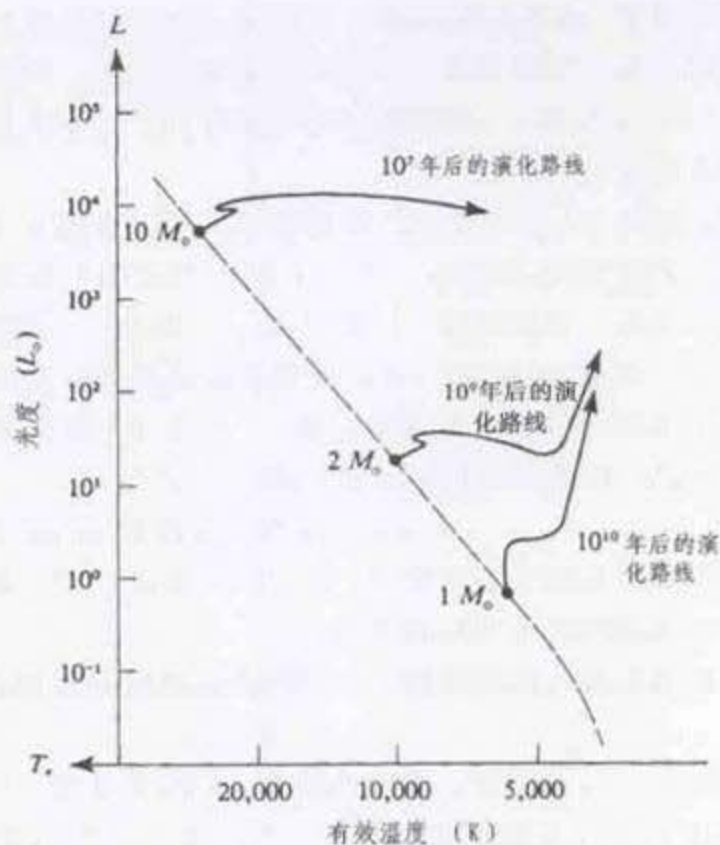
$$E = mc^2$$

式中， E 代表能量， m 代表质量， c 代表光速。由于有一个光速的平方因子起作用，一点点质量就会产生巨大的能量。根据爱因斯坦理论可以算出，1克氢释放的能量高达 6.4×10^{18} 尔格，相当于燃烧150吨煤所放出的能量。这些能量大都以光辐射的形式释放出来。

根据这样的产能率，我们可以估计一下太阳的寿命有多长。太阳的质量是 2×10^{33} 克，即2千亿万亿吨，其中，四分之三以上是氢。把氢作为燃料来燃烧，按目前太阳的辐射功率（ 3.8×10^{33} 尔格/秒）来计算，足够维持100亿年之久。太阳在主星序上已经停留了大约45亿年，也就是说，还有至少50亿年的时间可供地球使用。至于50亿年以后怎么办？到那时，科学水平的发展是难以想象的，实现星际之间的航行可能是不成问题的，等不到太阳发生故障，人类早已平安地转移到更适合生存的星球上去了。

天文学家研究恒星内部的核反应，也为地面上的核能研究提供了很好的线索。我们知道，水是由氢和氧组成，如果能在地面上实现类似太阳上的产能方式，取之不尽的海水便可以拿来燃烧，这种燃料既经济又没有污染，人类将再也不用为能源问题发愁了。目前，世界上许多国家，包括我国在内，正在进行的所谓“受控热核反应”，就是为了实现这一宏伟目标。

图 8.11 不同质量恒星在主星序上的停留时间。图中横坐标是有效温度 K ，纵坐标是以太阳光度 ($L_{\odot}$) 为标准的光度 L



主星序是恒星的公寓，或者说是最大的恒星城市，每一颗恒星一生中的大部分时间都住在这里。首先，这座公寓是分等级的，入住在上等还是下等，取决于恒星在形成之前的质量。质量小的，产生热核反应时，其表面温度较低，形成的是晚型星，只能住在下等。质量大的，形成的是早型星，便可以高高在上。

入住到主星序之后，究竟能住多长时间呢？这取决于每个恒星的节俭程度，发光越多，浪费越大，只好在这里少住几年。因此，恒星在主星序上的停留时间刚好和其质量成反比。图 8.11 便是就各种质量的恒星计算出来的停留时间。

太阳型（G 型）恒星在主星序上停留的时间大约是 100 亿年，比太阳型早的恒星在主星序上停留的时间要短。例如，质量为太阳质量 20 倍的 O 型或 B 型星，它们的光度比太阳亮 10000 倍左右。这意味着，它们燃烧氢的速度也比太阳快 10000 倍。用这两个数据简单一除，便求出它们的寿命要比太阳短 500 倍，即只有 1 千万年。而比太阳型晚的恒星，停留的时间反而要长，像最晚型

的 M 型星，在主星序上的停留时间竟长达几万亿年之久。

走上了坎坷的道路

对于恒星来说，当度过了主星序上的平静生活以后，面临的是重新走上一条坎坷不平的道路。

氢变氦的热核反应是在恒星的核心部分进行的。反应后生成的氦由于温度不够不再继续反应，犹如“废料”一样堆在那里。“废料”堆积得愈来愈多，逐渐形成一个由氦组成的“中心核”。

当氦核的质量占到整个恒星质量的 10% 以上时，星体会重新失去平衡。原因是氦核不能进行热核反应，无法向外辐射能量，不能抵抗住引力收缩的压力，因此，星体的核心便开始收缩。核心收缩会释放出引力能，它一方面使核心温度提高，同时点燃核心周围的氢，使之继续进行热核反应。与此同时，星体的外层被加热，其结果使星体本身很快膨胀。经过这一番动荡性反应，恒星在主星序上的平静生活遭到彻底破坏，不得不被迫离开主星序，踏上艰难征途。

星体迅速膨胀会产生两种显著变化：一是表面温度降低，二是表面积增加。表面温度降低，恒星的颜色变红，在赫罗图上应该朝右方移动。表面积增加，会使星体辐射的总能量增加，因而使整个星体的亮度增加，在赫罗图上应该朝上方移动。两种效应合起来，便如图 8.12 所示，星体沿着右上方的演化路线进入巨星区，变成红巨星。

红巨星的特点是颜色发红而明亮。当恒星降低表面温度后，单位面积辐射的光减弱了，但由于总面积增加了很多，增加的效果远远超过温度降低的影响，因而整个光度仍会成百倍地增加。我们多次提到的“大火”（心宿二）便是一颗著名的红超巨星，它的直径等于太阳直径的 600 倍，比地球到太阳的距离还大将近 2 倍。尽管它的表面温度只有 3650 度，但光度仍比太阳亮 10000 倍。太阳将来也会变为一颗红超巨星，估计它的体积尚不至吞噬地球，但光度会增加几十倍。到那时，地球上的温度会成倍地提高，有人估计会达到摄氏 100 度，显然那时的人类就无法再继续生存下去了。图 8.13 将心宿二和整个太阳系按大小比例画在了一起。

处在红巨星阶段的恒星，氢聚变为氦的热核反应仍然在进行，由于核心内

图 8.12 恒星离开主星序以后的演化路线

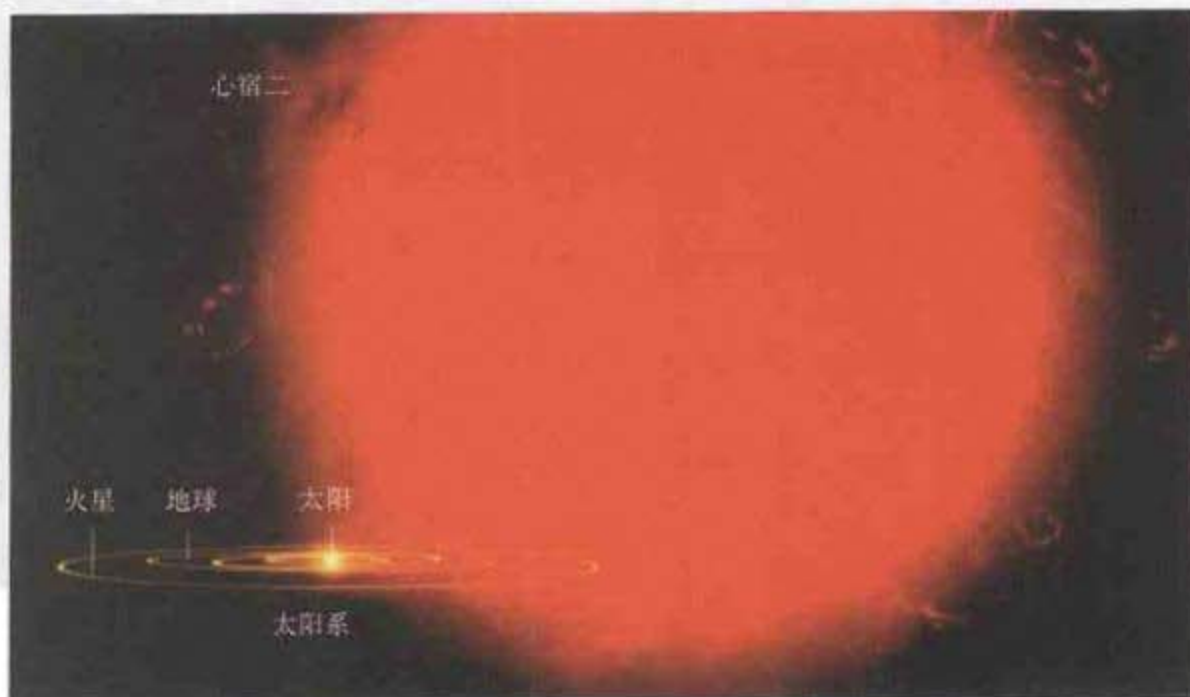
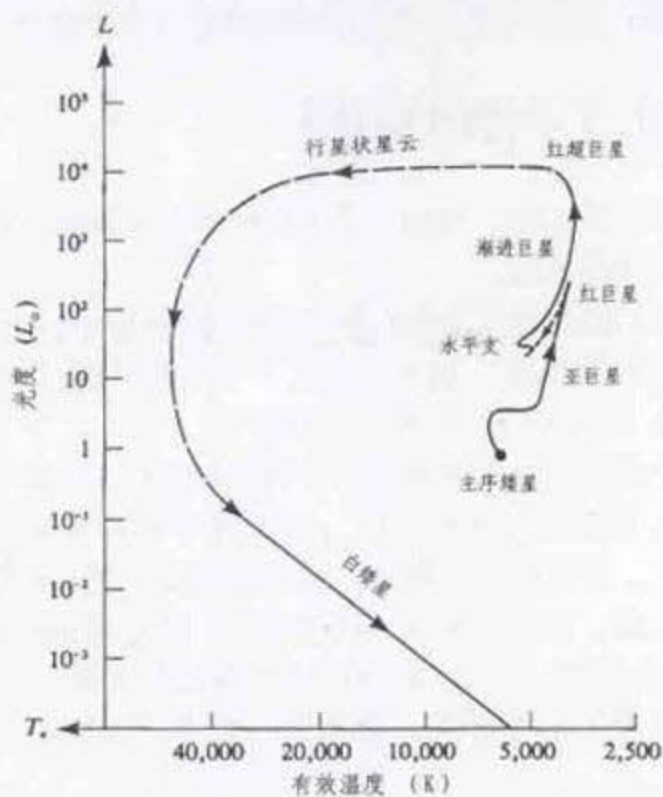


图 8.13 红超巨星与太阳系和太阳大小的比较

部的氢已经烧完，发生反应的区域逐步向外推移，核心里堆积的氦会愈来愈多。这时，星体处于一种十分反常的状态：一方面，星体的表面温度很低；另一方面，星体核心的温度由于收缩仍在继续提高。当核心温度达到1亿度，密度达到 10^5 克/厘米³时，氦也要开始进行热核反应。氦的热核反应原理和氢的是类似的，也是氦原子核通过碰撞聚变为更大的原子核，先是两个氦核碰成一个铍核，铍核再和氦核碰成碳核，结果是氦聚变成碳。

氦聚变又被称为 3α 过程，因为在物理学早期曾把氦核叫做 α 粒子。该反应过程的具体步骤是



先由两个 α 粒子合成一个铍(Be)，再由一个铍和一个 α 粒子合成一个碳(C)。最终是3个 α 粒子合成一个碳，在合成过程中同时释放出光子能量。

氦点火是一个相当猛烈的过程，所以又称作“氦闪”。氦闪之后，核心又会膨胀，使温度降低，氦闪随之停止。一次氦闪的时间往往仅能持续几千年。氦闪过后，氦仍可以缓慢地燃烧。恒星的氦闪可以发生不止一次，因而恒星在巨星区的位置也是来回摇摆的。如果把这段时间的演化路线详细画出来，是一条相当复杂的折来折去的曲线。图8.12中的水平支就表示的这一阶段。

恒星在红巨星阶段究竟能停留多长时间，目前还没有肯定的结论，但比之在主星序上的停留时间要短得多。太阳变成红巨星之后，大约能停留10亿年左右。

恒星离开巨星区域以后，演化路线侧转回来，朝左下方移动，跨入更加动荡不定的区域——脉动区。我们在讨论中子星机制时提到的脉动变星，便处在这个区域。处于脉动区的恒星都是不稳定的恒星，所有这些星体都在那里不停地光变，光变曲线各式各样，细分起来，能分成十几种类型。总之，处在这个阶段的恒星是在那里过着更加颠簸不定的生活。由于恒星的多次膨胀或爆发，在脉动区往往会出现各种巨大的气壳包裹着恒星，被称为行星状星云。

恒星离开脉动区之后，便开始进入晚年。

对于大质量的恒星，其演化途径会更复杂，美国天文学家史瓦西尔德曾把小质量的恒星比作穷人，把大质量的恒星比作富翁。穷人花钱节省，反而在主星序上生活的时间长，富人花钱大手大脚，挥霍浪费，不仅在主星序上住不了多久，在尔后的生活中也是惹是生非，颠簸不定。

质量超过 5 个太阳，就可以视为富翁。它们在氢燃烧完之后，同样进入氦的燃烧，也就是 3α 反应。但是， 3α 反应之后，一般不再熄火，也就是不出现“氦闪”，而是继续聚变下去。在高温下，碳还可以和氦聚变为氧 O：



碳和碳还可以进一步聚变生成镁 Mg：



还有一种途径是元素不断地与 α 粒子聚变，每聚变一次，便生成原子量更重一级的元素，一直聚变到铁为止。

在这段时间里，大质量恒星会抛射物质，向外刮恒星风，也会形成脉动变星，也会出现爆发……但不管怎样，最终也是进入晚年，走向死亡。

观测事实作证

我们把恒星曲折漫长的一生用一张图画出来，如图 8.14 所示，这样一条演化路线画起来容易，得来艰难。由于恒星内部的热核反应过程非常复杂，各层



图 8.14 一颗中等质量恒星演化的全过程，恒星的大小是一个示意，并不是按实际比例画的

的情况又很不一致，因此计算恒星的演化模型是一项艰巨的工作。天文学家用世界上最先进的计算机进行计算，一步一步地模拟恒星的演化过程，只要在赫罗图上把演化路线哪怕是推进1个毫米，都认为是取得了相当不错的成绩。不过，理论家使用的计算机再大，曲线画得再漂亮，毕竟是纸上的东西，正确与否需要靠观测事实来证明。

美国人曾经为了给后人留下不会遭到破坏的珍贵资料，特意制造一个保险箱，装入当代最知名人士（包括爱因斯坦在内）书写的简短文章，然后埋在很深的地下，准备让5千年后的人打开，亲眼看一看我们这一代人的手迹和想法。这件工作可称得上是为后人着想的“杰作”。如果为了验证一颗恒星的演化，我们也用这种聪明方法把目前恒星的资料装进去，那就要等到几十亿年以后才能打开保险柜。

其实，事情用不着这么复杂，我们无须盯住一颗星，只要把处于各种年龄段的恒星都拿来进行比较，便可以达到验证的目的。

主星序之前的演化过程已经从观测上找到了许多证据。在前面介绍过的巨蛇座鹰状星云M16（图8.10），其中的凝聚区便是恒星的诞生地。图8.15是一个形状如玫瑰花的星云，叫做玫瑰星云。从星云中发现了一些发暗的球状体，这些球状体是恒星最早期的收缩阶段。也许，更明确的证据是赫比格-阿罗天体。这类天体是由天文学家赫比格（1948年）和阿罗（1950年）首先发现的，因而以他们的名字命名，简称H-H天体。H-H天体都处在弥漫星云中，图8.16是在猎户座里观测到的H-H天体，仅在短短的十几年里，已经明显的看出几个原恒星已经开始发光。H-H天体的年龄一般只有几十万年，是恒星进入主星序前的必由之路。

各种类型的脉动变星更是数不胜数，这些变星在演化途径中都处在红巨星之后，星星在这里又过上了动荡不定的生活，时而变亮，时而变暗，就好像人生的晚年一样。

恒星在死亡之前也会有回光返照。许多恒星会爆发出美丽的光环，叫做行星状星云（图8.17）。行星状星云的名字就是我们在前面提到的观测大师威廉·赫歇尔给命名的。由于赫歇尔对星云的本质不够了解，仅仅从外形上起了一个恰当的名称。行星状星云已发现的数目并不多，只有几千个。原因是它本身的光度不大，小型望远镜难以辨认。

行星状星云外面有一个气壳包着，中间有一个中心星。但有许多看不到中



图 8.15 玫瑰星云中正在朝恒星收缩的暗球状体

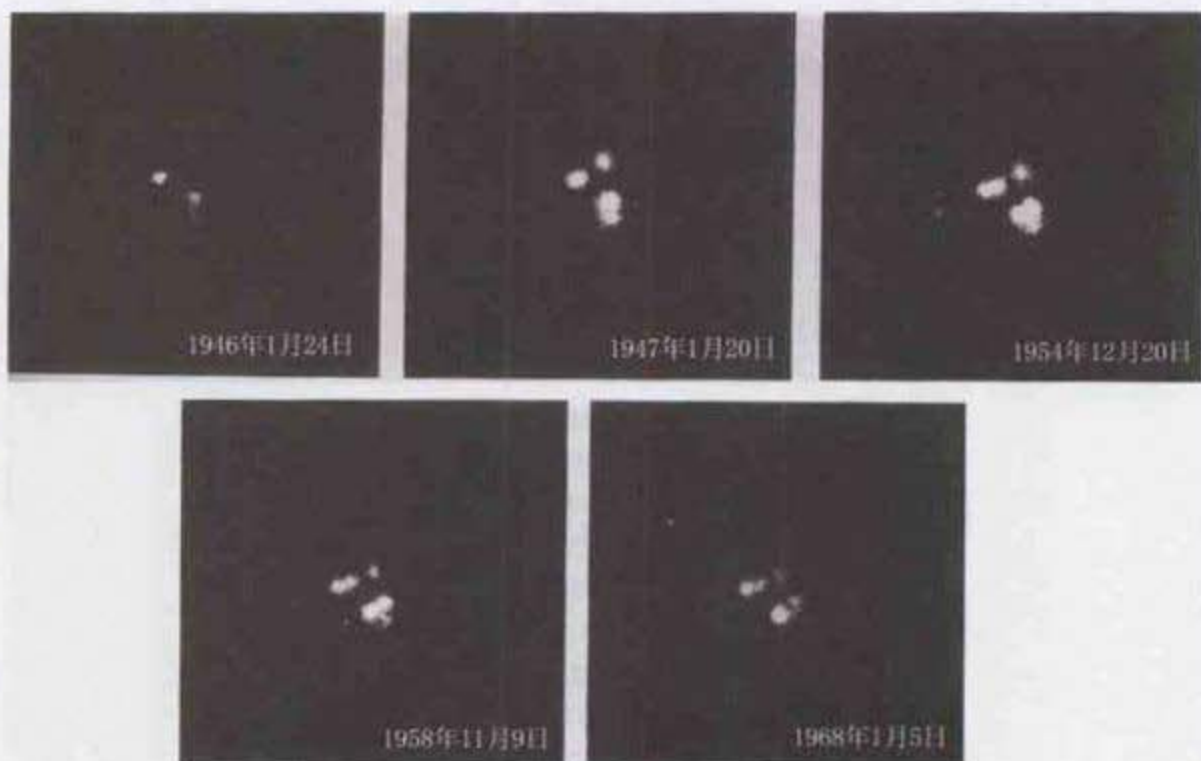


图 8.16 快要形成恒星的赫比格-阿罗天体。在短短的十几年中，原恒星的亮度不仅明显增加，而且在逐步形成恒星心星，被气壳覆盖了。气壳的光来自中心星，中心星发出强紫外辐射把它们照亮。中心星的温度在不断降低，周围的气云也在不断地向四周散去，其寿命只有 3 万年左右。也许，绝大多数恒星在死亡之前都要经历这一过程。虽然在银河系中观测到的行星状星云不多，但在周围的河外星系中已经找到了一大批。

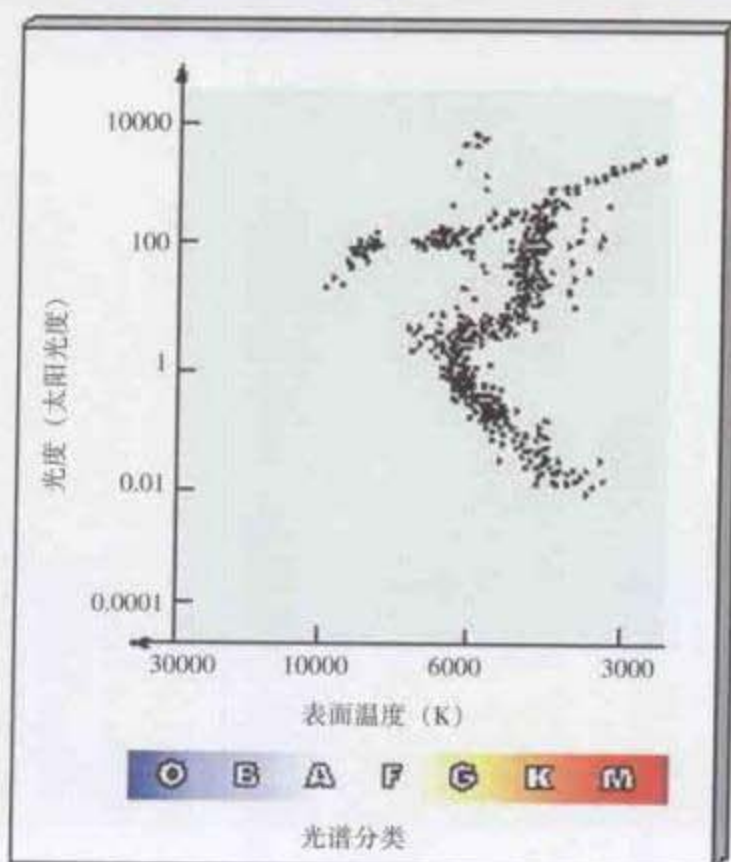
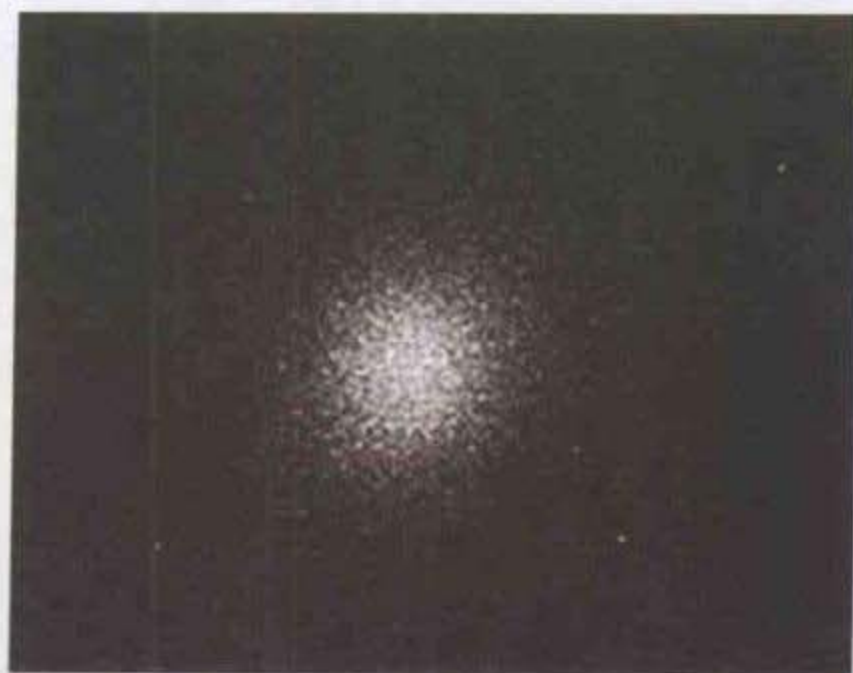
生物学家在研究人的一生时，有一个常用的方法，就是统计一个城市中各个年龄段的人，通过对他们的观察和分析，便可掌握人生的规律。恒星世界的城市便是星团。恒星在主星序之后的演化过程，最理想的验证样品便是星团。一个星团是由成千上万颗星组成的，这些星可以认为是差不多同时形成，而且开始形成时的各种物理条件也是一样的。我们把一个星团里的恒星按赫罗图点在一起，便得到一张星团的赫罗图（图 8.18）。不难看出，这些星在赫罗图上的分布和我们讨论的恒星的演化路线很一致。由于恒星的演化速度和质量是有关的，质量大的恒星演化的速度快，提前离开主星序，有的甚至已经跑到了脉动区，变成了一颗变星。它们的分布正好反映了恒星演化所走的路线。由此可见，我们从理论上计算出的演化路线的确是正确的。



图 8.17 行星状星云 NGC 7293，由于不断膨胀，已经变成了中空的环境星云

此外，单纯根据恒星在赫罗图上的分布，也可以判断恒星在各个阶段的寿命。哪里堆积的恒星最多，表明恒星在哪个阶段停留的时间最长。显然，停留时间最长的是在主序阶段，其次是巨星阶段，再其次是脉动阶段。不过，白矮星阶段多少有些不同，原因是白矮星的光度太低，许多我们看不到，目前观测到的白矮星数只占总星数的 3%，而它的实际数目应该占到 10% 左右。

图 8.18 球状星团 M3 (上)
和它的赫罗图 (下), 清楚地
反映了恒星演化的路线



在灾难中诞生了天蟹

恒星演化到后期，在进入白矮星之前，大部分恒星还要经历一次爆炸过程。这次爆炸是恒星一生中最后的一次大灾难，很可能会使恒星粉身碎骨，从此化为灰烬。例如，全天中最强的射电源叫做仙后 A，它所在的位置上已经找不到恒星，只是发现一些星体的碎片，这些碎片正在以每秒 7000 多千米的速度向四周飞溅。据推算，这正是 300 多年前（1670 年）一次超新星爆发所造成的（图 8.19）。

恒星爆发的形式有好多种：新星、超新星、各种爆发变星、再发新星等。恒星到了晚年为什么一定要爆发，这是目前天文学家非常感兴趣的研究课题。

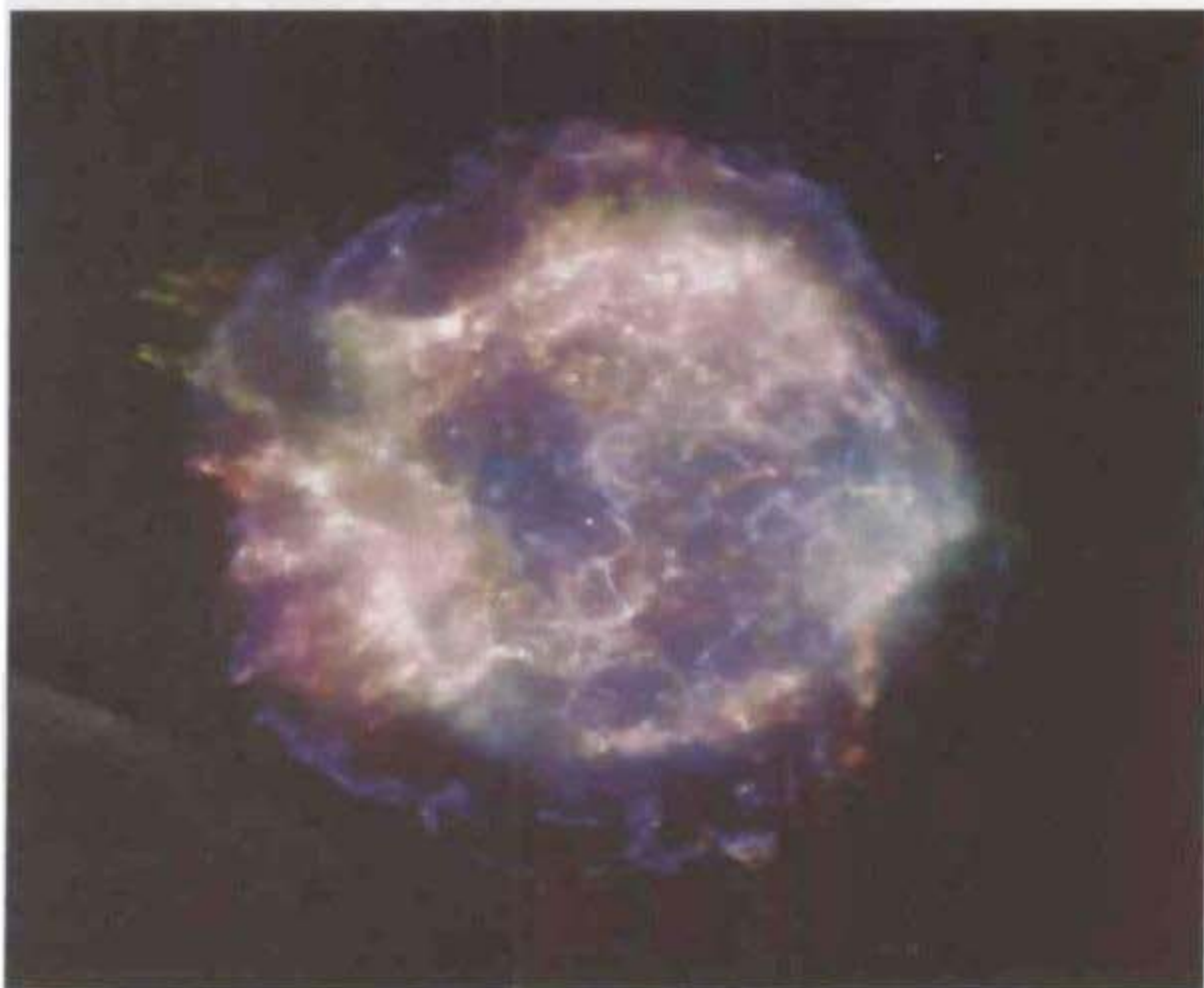


图 8.19 仙后座 A 超新星遗迹的 X 射线照片

不过，已经提出的各种理论，还不能得出令人满意的解释。

质量比太阳大很多的恒星，到后来会产生超新星爆发。正如我们在前面所讨论的，恒星内部的热核反应是一个持续不断的过程，先是燃烧氢，氢燃烧后变氦；氦还可以燃烧，燃烧后变为碳；碳还可以燃烧变为氧……每次反应的过程总是这样的：当一种燃料烧完之后，核心缺少能量辐射，便开始收缩，收缩后使温度进一步提高，达到下一种燃料的点火点，便又开始新的燃烧。这些热核反应有一个特点，即都在聚变，像滚雪球似的，原子核愈滚愈大。是不是无限地滚下去呢？不是，当滚到铁时便停止了。铁原子核的原子量是 56，即有 26 个质子，30 个中子。铁不但不会聚变，还会倒过来进行裂变。这时的核反应会产生大量中微子。中微子的特点是穿透本领强，产生以后便很快跑掉，同时把能量带走。这样，会导致核心坍缩般地收缩，从而引起爆炸。

猛烈地爆炸产生巨大的能量，不仅向外产生强大压力，还会向里产生强大压力，出现内爆现象，中子星便在内爆过程中被挤压而成。人造金刚石的制造方法与产生中子星的情况颇为相似，金刚石也是由碳组成，只是它的结构非常致密，拿一大块普通的碳在高温下突然爆炸，便会挤压出金刚石来。

恒星爆炸的壮观场面可以在宇宙中找到很多。图 8.20 是位于天龙座的一个行星状星云，其结构十分对称，活像一只猫的眼睛，故又称为“猫眼星云”。据推算，它是在 1000 年前的一次星星大爆炸中诞生的，中间的中心星明晰可见。

当代人目睹到的一次星星大爆炸发生在 1987 年，由于是 1987 年发现的第一颗超新星爆发，故称为 1987A。它出现在离我们银河系最近的河外星系——大麦哲伦星云内。这颗星一开始爆炸就被发现了。于是天文学家密切地观测了它的全过程。如今，它形成了两个“呼啦圈”。令人惊叹的是，才过了不到 20 年，一颗恒星就为我们绘出了一幅如此壮丽的晚年彩图。

我们的天蟹便是在这样的超新星爆发过程中诞生的，四周飞溅的物质形成星云，中心形成一颗中子星。像蟹状星云这样完美的样品，目前我们才只看到这一个。银河系内有历史记载和被确认的超新星爆发次数也才只有 7 次。当然，银河系里超新星爆发的次数绝不会只这么几个。有人将现在已经变为遗迹、早期可能是超新星爆发进行了计数，估计总数有 100 多个。根据推算，整个银河系里平均每 50 年爆发一次超新星。

作者曾经得出银河系里脉冲星的总数，一共是 9 万颗。脉冲星的平均寿命是 4 百万年。计算一下多长时间产生一颗脉冲星，这和计算人口的诞生率一

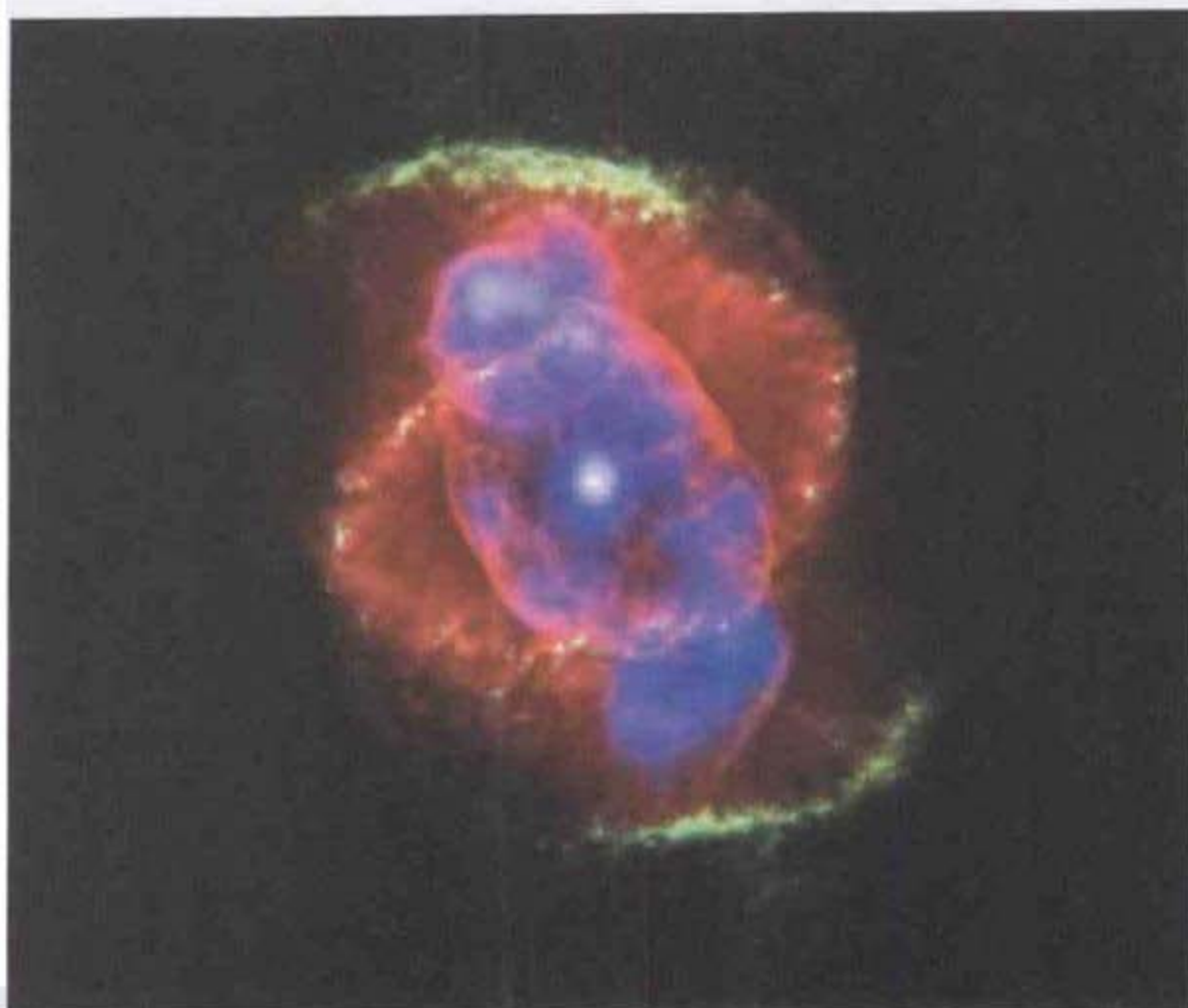


图 8.20 行星状星云 NGC 6543, 又称“猫眼星云”

样, 应该用寿命去除总数, 便得到脉冲星的产星率

$$\text{产星率} = \frac{9 \times 10^4}{4 \times 10^6} = 0.0225 \text{ 个/年}$$

即每年产生 0.0225 个, 取其倒数, 便得出每 44 年产生一颗脉冲星。超新星是每 50 年产生一颗, 两者的数据相当吻合, 说明用超新星爆发解释脉冲星的诞生是非常合理的。

至于脉冲星的自转问题, 也很容易得到解释。当初的恒星在那里缓慢地旋转, 爆发后, 体积缩成一点点, 为了保持角动量守恒, 它只能飞快地旋转。

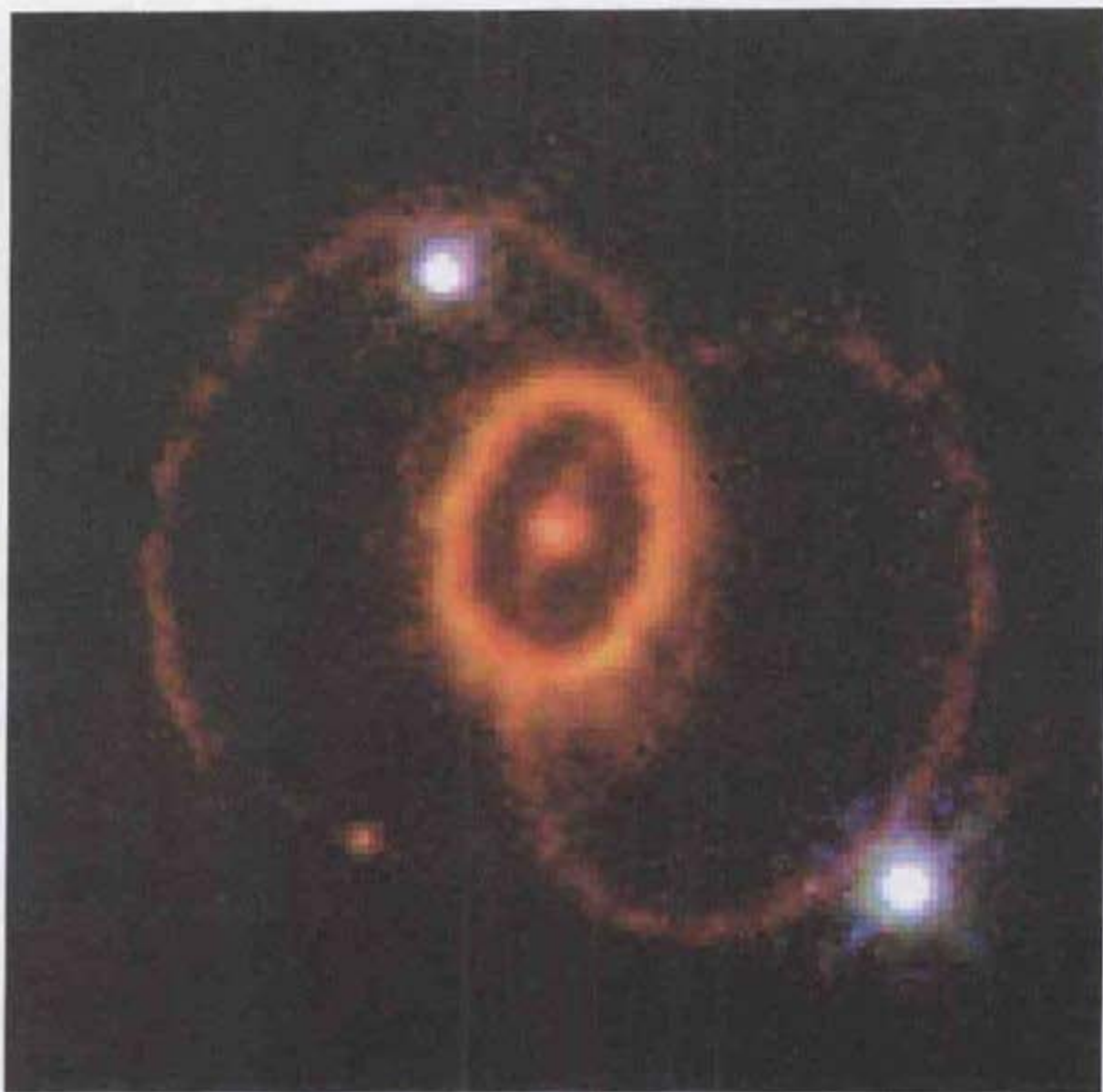


图 B.21 超新星 1987A，目前已套上了双呼啦圈的彩带

最终的归宿

目前认为，恒星最终的归宿有三种可能：白矮星、中子星和黑洞。恒星在漫长的一生中总在不断地损失质量，最后剩下的质量往往已经不大。但是，所剩质量的多少十分重要，它决定恒星最后的归宿。

如果星体最后的质量不到 1.4 个太阳质量，便最终演化为一颗白矮星。1.4 个太阳质量的限制，叫做钱德拉塞卡极限，是由当代著名的理论天体物理学家，美籍印度人钱德拉塞卡首先推出来的。钱德拉塞卡 1910 年出生于印度的拉哈尔（今属巴基斯坦），幼年即表现出卓越的学习才能，在大学期间就阅读了当时的许多物理专著和论文。他 20 岁时以全班第一的成绩毕业于马德拉斯大学，随后从孟买乘船前往英国继续深造。据说，他在 3 个月的航海中，克服晕船之苦，一心在思考着白矮星。

当时，白矮星刚发现不久，第一颗被发现的是天空中最亮的恒星——天狼星的伴星，它是由美国天文学家亚当斯于 1914 年发现的。白矮星一发现，立即就引起了轰动。原因是它和天狼星是一对双星，根据双星的运动，很容易算



图 8.22 天狼星和它左侧的伴星白矮星。天狼星必须过度曝光，才能显示出它的小伙伴来

出每颗子星的质量。这颗伴星的体积比天王星还小，因此，它的密度高达 53000克/厘米^3 。这在当时简直是不可思议的。如此高密度的物质，体积又小，白矮星的表面引力必然很强。根据当时流行的星体状态平衡理论，是无法维持稳定的。钱德拉塞卡利用刚提出的简并态的理论，认为用简并的电子气便可以顶住强大的引力。不仅如此，他更提出，白矮星的质量有一个上限，即1.4个太阳质量，超过了这个质量，便不再能形成白矮星。

钱德拉塞卡的见解激怒了当时的天文学权威爱丁顿。

1935年1月，钱德拉塞卡刚刚毕业于剑桥大学三一学院的理论物理研究所，应邀在英国皇家天文学会作报告。爱丁顿当场对他的报告多次表示强烈的反对，并当众撕掉钱德拉塞卡的论文，说他是一派胡言。爱丁顿是研究恒星大气物理的权威。根据爱丁顿的理论，与引力抗衡的力只能是恒星大气的气体压力和辐射压力。质量多大的星球，都可以达到平衡。为什么白矮星会冒出个1.4的限制呢？爱丁顿不懂得自由电子可以手拉手的增强抗压力，这在经典物理里是不可思议的。更重要的是，电子的这种抗压力有一个限度，超过这限度，手拉手也没有用了。

在保守的英国科学界，接受不了钱德拉塞卡，他很快到美国的芝加哥大学任教。在那里，他的才能才得以发挥。除了在科学方面的诸多成就外，他还兼任“天体物理学”杂志的主编，长达20年之久，使该杂志成为世界上最权威的天文学杂志之一。钱德拉塞卡的知识面十分广泛，据说他做主编时，几乎所有的稿子都是他一人裁夺。

钱德拉塞卡还是一位诲人不倦的学者，他培养的博士生超过了50人。他曾每周驱车数百公里为两名中国留学生上课。这两位年轻人后来因宇称守恒定律的研究而获得诺贝尔物理奖，他们就是杨振宁和李政道。

钱德拉塞卡的荣誉是晚到的，辞去天体物理学杂志的职务之后，钱氏只任芝加哥大学的教授。在竞争和求实的美国社会，其地位每况愈下。1983年10月19日，钱氏收到了瑞典皇家科学院的通知，他获得了当年的诺贝尔物理奖。而这一天正是他73岁的生日，其激动之情可想而知。他的获奖就是靠了“1.4”，这恐怕是诺贝尔奖历史上最简单的数字了。钱氏在颁奖仪式上照例发表了演说，演说的最后一句话便是“简单是真理的标志，而美是真理的光辉”。

当星体剩下的质量超过太阳质量的1.4倍，最终便演化为一颗中子星。但并非所有的大质量恒星都能演化为中子星。同样有一个质量界限——3个太阳质

量，这个限制叫做奥本海默极限。超过奥本海默极限，就只能演化为黑洞了。

黑洞表面的引力场比中子星还要强得多，其表面的逃逸速度达到了光速，因而连光子都不能从黑洞里跑出来。既然什么都看不到，所以取名“黑洞”。黑洞对任何东西都可以吸收，却连一个光子都舍不得拿出来，真算得是一个地道的“铁公鸡”。这样一个“怪物”似乎很难被人理解，长期以来，不少人对黑洞是否真的存在抱有怀疑。近年来，身体瘫痪而意志坚强的英国天文学家霍金证明黑洞不仅能吸收，还能发射。另外，观测上也有愈来愈多的迹象表明黑洞的确存在，因而目前对黑洞持怀疑态度的人已经很少了。

白矮星也好，中子星也好，都是能源已经枯竭的天体，他们只是靠原先储存的一点能量在维持生命。等到这点能量消耗完以后，便剩下一个不发光的恒星残骸，最终了结恒星的一生。

现在，我们再来看一下蟹状星云将来的命运如何。目前的蟹状星云正在以每秒 1450 千米的高速度向外膨胀，而蟹状星云的物质是有限的，膨胀的结果必然会形成一个环状的星云，就如行星状星云 NGC 7293 一样（图 8.17）。如



图 8.23 天鹅座里的一片星云遗迹，蟹状星云的未来大概就是这副样子

果再继续膨胀下去，环状星云也会瓦解，最后变为一缕缕的轻烟漂浮在那里。我们自然无法看到蟹状星云的未来，但可以利用其他天体作为借鉴。图 8.23 是天鹅座里的一个星云遗迹。据推算，它是 2 万年以前的超新星爆发遗迹，只要细心观察，就不难看出它的整个结构是一个圈状的，因此又叫做圈状星云。圈状星云距离我们只有 2000 光年，可以对它的结构进行详细观测。结果发现，整个星云仍然在膨胀，残余的气体仍在发射着射电波和 X 射线。同时，在这个星云的中心还发现一个很强的 X 射线源，遗憾的是，并没有找到脉冲星。2 万年以后，我们的子孙看到的蟹状星云大概就是这个样子。至于蟹状星云里的脉冲星，待能量耗尽以后，也同样成为一个不发光的天体残骸了。

9 蟹状星云与天关客星

无论从哪一方面来说，蟹状星云在天体物理学中都具有十分突出的地位。正因为如此，各方面对蟹状星云的考查也变得更加严格了。其中，关于蟹状星云究竟是不是 1054 天关客星的遗迹，曾经在国际上引起了颇为热烈的争论。有些人从科学角度提出置疑，也有一些人是不甘心中国人独占鳌头，总想给自己的脸上贴上一点金。

古人观星

天关客星出现在天空中最为壮观的星空之中，它右靠金牛，左靠双子，北邻御夫，南倚猎户。古人之所以把它称之为“天关”，可见视其位处险要。

我国早在周之前就把赤道附近的星空分为二十八宿，宿在此处读“xiu”，意指恒星的住宿地。战国时期，魏人石申著有《天文》八卷，齐人甘德著有《天文星占》八卷。可惜这两部书都已失传，只能在以后的著述中看到对其内容的转述。现存最古老的星图是敦煌星图，成图于唐中宗（公元 705~710 年）时期，20 世纪初发现于敦煌石窟，后被英国人斯坦因盗往国外，现仍存于大英博物馆内。敦煌星图中共给出 1350 颗星，从 12 月开始，逐月给出。无论从星数和精确度都是当时世界上最先进的。

天关星所在的位置，按二十八宿的划分，处在毕宿、参宿和觜宿之间。毕有八星，形如叉子。宋代朱熹是一位大思想家，朱熹认为“天毕，毕星也，状如掩兔之毕”，“网小而柄长者谓之毕”。也就是说，毕是一个捕兔的网叉。图

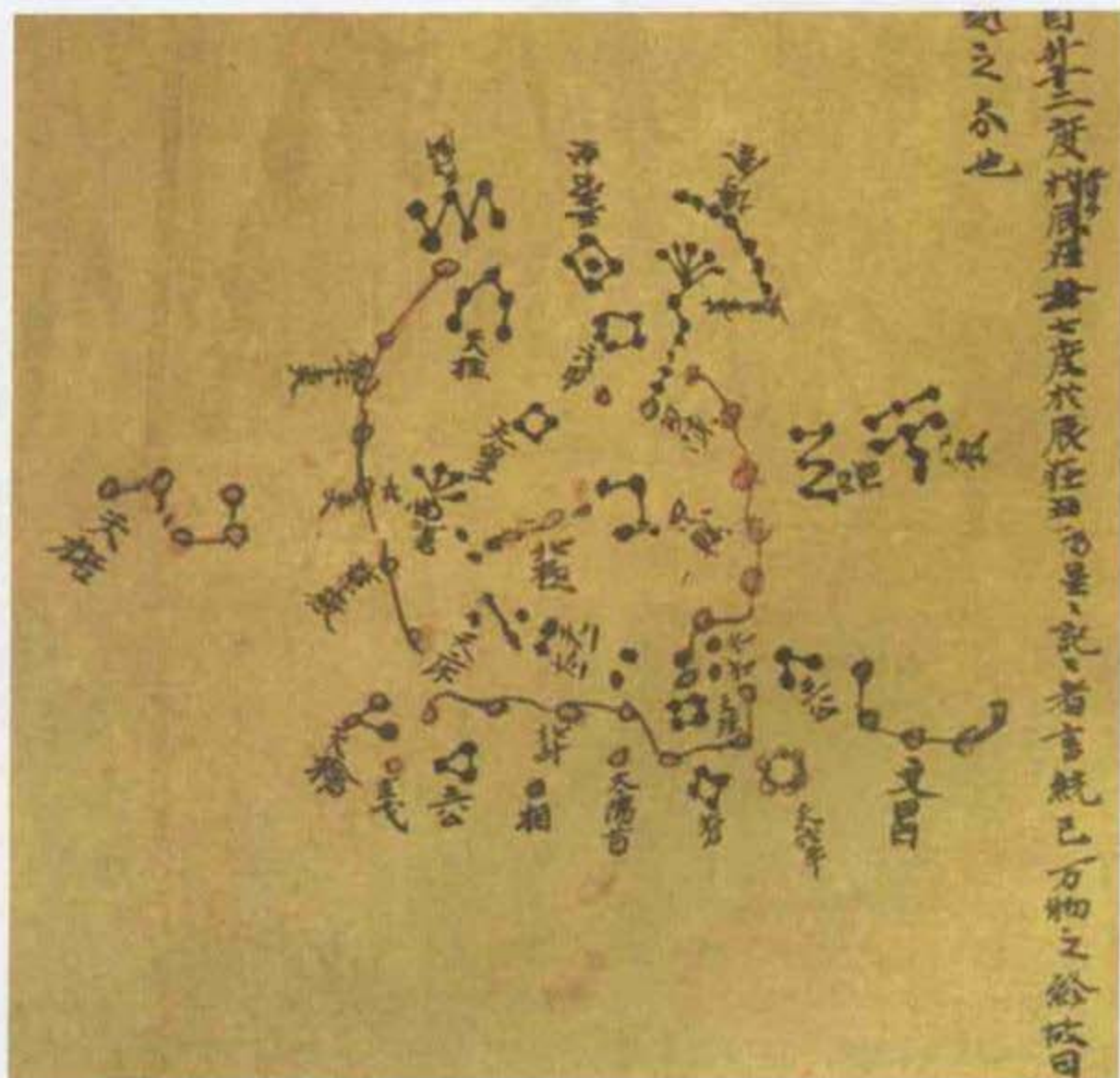


图 9.1 著名的敦煌星图

9.2 是根据古代星名绘制的毕宿图，图中给出了天关星的位置。

至于参宿，传说就更丰富了。参有三的含义，指中间的三颗主星。参宿为统帅军队的将军，其七星称为七将。中间三星为三将军，上下各有两颗星，上面两颗称为左右肩，左肩为左将军，右肩为右将军。下面两颗称为左右足，左足为后将军，右足为偏将军。占星家常用参星判断军情，如果中间三星是横向平衡的，则天下太平。如果三星倾斜，则天下不安。三星芒角动摇，则



图9.2 参宿图

会起兵。

参宿十分特殊，就是处在参宿上方的三颗星，位于左右肩之间。古代划分二十八宿并不是均分的，有大有小，参宿可能是最小的了。但它地处军事要地，古人视为军队的后勤藏库。所谓“参三星，行军府藏也。其星欲明，明则国盈，军有储；其星不明，不以军行将，天下军士无食。”因此，“王者将出，必察其星”。还有一种说法，认为参为虎首，且为白虎之首。我们只能看到虎首，整个虎身都躲在背后了，当然可以自称一宿。



图 9.5 金牛在那里雄壮展姿，两只犄角上各有一星。金牛座 ϵ 便是天关星，蟹状星云 M1 就在它的旁边

有关星座的故事，各个民族都有很多。由于希腊的历史悠久，西方广为流传的大都是希腊的神话。猎户座，自然是讲一个猎人的故事。奥立翁是海神的儿子，一位出色的猎手。他与狩猎女神阿特米斯相爱。女神的哥哥是太阳神阿波罗，他反对妹妹的这桩婚姻，否则就违背了狩猎女神必须终身独身的天规。

一天，他趁奥立翁在海上行走，叫来妹妹阿特米斯，对她说：“大家都称赞你是神箭手，从不虚发，今天我想和你打赌，看你能不能射中海面上移动的小黑点。”阿特米斯一箭中的，射死了自己的情人。知道真相后，她伤心的请求父亲宙斯大神，将奥立翁升天，而她自己作为月亮神与天空中最耀眼的情人永远相伴。在猎户座的周围，自然围绕着大犬、小犬和玉兔等动物陪伴着天神。

在猎户座西北方不远的天区，有一颗非常亮的 0.86m 星，它就是金牛座 α 星，我国古代称它为毕宿五。

金牛座的故事不止一个版本。宙斯对美丽的腓尼基亚公主欧罗巴一见钟情，就化为一只雪白的牛去接近她。公主情不自禁地喜欢上了这头牛，便爬在牛背上散步。宙斯不顾一切的冲向大海，将欧罗巴带到自己出生的地方——克里特岛，在那里与公主成了亲。后来，宙斯用爱妻的名字命名了这片土地，这就是后来的欧罗巴洲，即欧洲。宙斯对自己的变形很满意，便将它升上天空，成为金牛座。

金牛座中除了天关星和我们的蟹状星云之外，还有两个星团值得一提，一个是昴星团，一个是毕星团。昴星团又称“七姐妹星团”，眼睛好的人，在无月光的晚上可以看到 11 颗星。事实上，这是一个有 280 多颗星的疏散型星团。毕星团也是一个仅次于昴星团的大型疏散星团。这两个星团在银河系中排行第一和第二，可见我们的金牛装饰的是多么雄壮啊！

史书上的丰富记载

宋朝在历史上虽然是一个软弱的国家，一直受外族的侵扰，但宋朝总算把七零八乱达半个多世纪的中国统一起来，促使当时的经济和文化获得很大发展。印刷业在宋朝已经非常发达，编印大批文史书籍，以致宋版书成为了收藏家搜罗的珍品。有关 1054 年超新星的文献也厕身于宋代浩如烟海的典籍之间，为后世的研究提供了丰富的历史资料。自从这颗超新星受到世人瞩目以后，我国天文学史家进一步遍查各种史籍，尽可能详细地搜集有关记载。

表 9.1 列出 6 条史料，这短短的几条史料，虽然字数不多，但却是一字千金。古人记载下这些资料固然珍贵，查找这些资料也非易事。这是多少天文学史家从浩瀚的书堆中一点一点地查找到的，像其中的第 3 条和第 4 条是在 1977 年才被找到的。此外，还有些属于传抄前人的记载，我们就不一一列举了。

这些记载都是出自宋人当时编撰的史书。其中特别值得一提的是《宋会要》。《宋会要》的编者有可能见到过司天监的原始观测资料和报告，因为在编写这部书时宋朝廷曾明令中央及地方部门把文书档案资料交给他们使用。这部书开始编写的时间是 1070 年，距离 1054 年只有 16 年。

表 9.1 史书上有关天关客星的重要记载

序号	史籍	编撰者	成书年代	记事
1	《宋会要》	王珪、李德刍、陈知彦等	北宋元丰四年 (公元 1081 年)	至和元年七月二十二日 (1054.8.27) 守将作监致仕杨惟德言:“伏睹客星出现,其星上微有光彩,黄色。谨案《黄帝掌握占》云:‘客星不犯毕,明盛者,主国有大贤’。乞付史馆,容百官称贺。”诏:“送史馆”。
2	《宋会要》	王珪、李德刍、陈知彦等	北宋元丰四年 (公元 1081 年)	嘉祐元年三月,司天监言:“客星没,客去之兆也”。初,至和元年五月,晨出东方,守天关。昼见如太白,芒角四出,色赤白,凡见二十三日。
3	赵清献公集(卷一:奏疏论灾异乞择相正月二十一日)	赵抃		至和二年正月二十一日 (1055.2.20) 侍御史赵抃上言曰:“臣伏见自去年五月已来,妖星遂见,仅及周稔,至今光耀未退”。
4	续资治通鉴长编(四库全书本)	李焘	南宋乾道四年 (1168), 淳熙九年 (1182) 重新别写全书	至和二年三月辛巳 (1055.4.22) 起居舍人知谏院范镇上奏曰:“……惟妖星之变,及今一年,臣消息所未至也……”
5	续资治通鉴长编(四库全书本)	李焘	南宋乾道四年 (1168), 淳熙九年 (1182) 重新别写全书	至和元年五月己丑 (1054.7.4) 客星出天关之东南可数寸。嘉祐元年三月乃没。
6	续资治通鉴长编(四库全书本)	李焘	南宋乾道四年 (1168), 淳熙九年 (1182) 重新别写全书	嘉祐元年三月辛未 (1056.4.6) 司天监言:“自至和元年五月客星晨出东方,守天关,至是没。”

在《宋会要》中提到的杨惟德是北宋时代一位有名的天文学家,同时还是一位占星术家。从公元 1010 年起,在司天监担任专门占候天灾的保章正,先后又担任过太子洗马、司天少监、权利司天监和司天监证。后来成为守将作监致仕,相当于最高的司天监。他辛勤观测了 40 多年,记录了许多天象,为后代天文学留下了许多宝贵资料。

李焘的《续资治通鉴长编》大约晚了 100 年。这中间经历了一场宋金战

争，金兵占领北宋的首府开封，京城的大量书籍档案散失。因此，李焘的成书可能大都是引用别人已经整理或改编的资料。即使如此，这些记载也还是十分宝贵的。到了元、明、清时代，史书中仍继续提到这颗超新星，所有这些连贯而一致的记载，令人信服地证明中国古代的天文学家的的确确对天关客星的发现做出过巨大的贡献。

在宋史的记载中（图 9.6），清楚地写明了有关天关客星的出没情形。

图 9.6 宋史记载的部分内容



一场论战

进入 20 世纪 70 年代，围绕天关客星掀起数起波澜。第一起波澜起自 1965 年，当时在马来西亚大学任教授是何丙郁与两个美国科学家合作，在美国纽约卡内基公司和联邦政府领袖与专家计划委员会的资助下，花了 7 年功夫研究这颗客星。他们的研究成果发表在权威的天文学杂志——《天文学展望》第 13 卷上，题目叫做《中国的 1054 年客星和蟹状星云》。这篇文章一发表，立即在国际上引起反响。文章的中心内容是否认天关客星是一次超新星爆发，认为仅仅是一颗彗星而已，因而也就从根本上否认蟹状星云是这次超新星爆发的遗迹。何丙郁等人的文章引经据典，洋洋数万言，是一篇花费心血的“挑战”。

科学的“挑战”需要科学的“应战”。何丙郁等人文章的主要论点有二：一、天关客星不是超新星，而是一颗彗星。二、史书上对客星位置的记载不准，根据目前蟹状星云的位置，它不可能是这颗客星爆发后的产物。为了辨清真伪，我国的天文学家们又以科学的态度重新查阅了大量史料，逐一核对每一个细节。这场辩论涉及许多专门史料考证，许多已经超出本书范围。但是，这关系到“祖宗的荣誉”，作者还是愿意多费几笔，尽力表述出来。

史料第 5 条中写到“客星出天关之东南可数寸”，这句话本来的理解是“客星出现在天关星的东南方向，相距大约数寸”。何丙郁等人的文章对“寸”字提出不同理解，认为“寸”字是表示长短的，“可数寸”是指彗星尾巴的长度，而不是指距离天关星的距离，作为天文上的距离通常是用“度”来表示的。

事实是怎样的呢？在各种古代的天文观测记录中，的确经常使用“丈、尺、寸”，既可表示距离，又可表示长度。但是，当用来表示长度时，前面必定加上某种冠词，例如，“长×尺×寸”，“尾×尺×寸”，“光芒×尺×寸”等。如果是用来表示距离，则不用这类冠词，而仅仅指明方向。至于说到用“度”表示距离，情况恰恰相反，中国古代反倒是用“度”表示位置，而很少用来表示距离。何丙郁等人的文章在这一点上未做深入调查，仅仅是一种主观推断。

另一个争论的焦点是对“守”字的理解，在史料第 2 条和第 6 条中都用“守天关”来描述这颗客星。何丙郁等人的文章认为，“守”字有“徘徊不去”的含义，“徘徊不去”含有运动的意思，既然在那里运动，就可能是一颗彗星。在这里，他们对“守”字的解释也完全是片面的。史书上常用“守”和“出”

来描述客星，如用“出”字，有时有运动的含义，如用“守”字，则是指停留在那里不动。有所谓“居其宿曰守”、“留二十日以上为宿，宿犹守也”。另外，如果是一颗彗星，怎么可能在一个地方停留 600 天以上呢？

何等人的第二个主要论点是认为客星位置记载有出入。史料中记载的位置是“客星出天关之东南”，也就是说，客星出现的位置是在天关星的东南方向，而现在我们观测到的蟹状星云的位置却在天关星的西北方向（参看图 1.1）。这个矛盾的出现有几种可能：一是史料中对位置的记载可能有错误。宋朝当时的政府机构重叠，朝政腐败，对于司天监的工作往往信不过。甚至故意设两个观星台，让他们互相监督。一遇到异常天象，大家更是手忙脚乱，作一番牵强附会的迷信解释，这就很容易出现错报或漏报的现象。在所有史料中，准确给出方向的只有《续资治通鉴长编》上的记载，而这部书又是整理他人的资料，距天关客星的出现日期已经一百多年了，个别地方记载错误的可能性也就更大了。另一种可能性是当初的观测者对方向的判断有错误，最初发现天关客星是在东南方向的地平线附近，而客星离天关星的位置又很近，这就容易把东南西北的方向估计错了。还有一种可能性是由于在超新星爆发后的 900 多年时间里，位置发生移动。近年来，已经测量出蟹状星云里的脉冲星是有自行的，自行的结果是使天体在天空中的位置发生改变。不过，目前测出的这颗脉冲星的自行量并不大，每年只有 0.01 角秒左右。总之，有关天关客星的准确位置是需要进一步探讨的问题。但是，绝对不能因为一条史料中可能有不确切的地方而把整个基本事实否定掉。

更为可信的证据是，我国天文学家进一步根据史料中记载的客星爆发时间、亮度变化和位置，研究了这颗客星的光度变化曲线，发现它与近代天体物理学所确认的 I 型超新星的光度变化曲线非常一致。

1978 年，以第 15 届国际天文学会主席戈德堡为首的美国天文代表团访问中国，成员中都是一些当代知名的天文学家。在他们访问过程中，南京紫金山天文台的天文学史家曾向他们专门报告了有关 1054 客星的研究成果。报告中，引用史料之丰富，论据之全面，使各位天文大师们为之佩服。当报告作完之后，全体代表起立为之鼓掌，这掌声显示中国天文学家为维护祖国的荣誉取得的胜利。

日本记载的日期出了错误

1054 客星高挂在天空中达二年之久，除了中国史书上有详细记载以外，其他国家的史书上就没有一点反应吗？当然不会，日本的史书中曾出现过比较详细的记载。目前，总共查到两条：一条是在 1235 年成书，藤原克家编写的《明月记》中；另一条是出自作者不详的《一代纪要》中。两条史料的原文如下：

“天喜二年（1054）四月中旬以后，丑时，客星出觜参度，见东方，李天关星，大如岁星。”

“(天喜二年)四月，大客星出觜参座（度），见东方，李天开（关）星，大如岁星。”

其中的“李”字作“侵犯”讲，“岁星”指的是木星。这两条记载对于佐证天关客星的位置和亮度很有价值。但是，它所给出的日期却是有错误的。根据计算，1054 年四月中旬时，太阳的经度（黄经）为 70 度左右，天关星的经度也为 70 度左右。换句话说，天关星和太阳同起同落，因而，用肉眼根本看不到天关星。关于这一错误，一位研究天关客星的荷兰天文学家奥尔特早在 1942 年就指出来了。他把“四月中旬”改为“五月中旬”，其实这仍然是有问题的，因为记载中特别说明是在“丑时”看见客星出东方，丑时相当于清晨 1—3 时，而这时的天关星还在地平线下面，根本无法看到。因此，日本人记载的日期至少应为“六月中旬以后”，这时客星的亮度才有可能像木星一样亮。另外，与杨惟德的观测记录“微有光彩，黄色”也是一致的。

有人从语音学的角度作了一番颇为有趣的分析。在日语中“七月”念作“シチガツ”(Shichigatsu)，“四月”念作“シガツ”(Shigatsu)，两者的读音容易混淆。史书几经传抄，发生笔误，将“七月”误写为“四月”是完全可能的。

即使采用“6 月中旬”的日期，相当于 7 月 18 日~27 日，比我国最早观测到的日期 7 月 4 日相比，也晚了至少 14 天。此外，日本记载的完整性和我国相比也逊色多了。

印第安人的两幅古画

1955 年美国天文学家米勒宣布了一条令人感兴趣的消息。他花费两年的时

间在美国的亚利桑那州北部进行考查，发现两幅可能具有天文意义的古画（图9.7）。两幅画都是画在石头上，这里是印第安人古代居住的地方。虽然这两幅简单的画并没有注明日期或题字，但米勒认为它们所表示的很可能就是1054超新星。理由是：在发现这两幅画的地点，同时发现一些陶瓷碎片，分析瓷片的年龄，大致在1054年的前后。另外，如果是行星接近月亮，这是经常看到的天象，不会引起注意，只有像超新星爆发之类的异常天象才会使人特意把它们画下来。

我们不妨具体讨论一下米勒的分析是否有一定的道理。上面的一幅画画的是新星和新月相掩，根据计算，在北美洲不会看到这种景象。至于下面一幅画，印第安人在1054年7月5日傍晚看到的景象大体是这个样子，残月在新星正北3度左右。不过，这里究竟是否画的就是当年的超新星，证据实在太不充足了。连米勒本人也认为，有待在这些地区作进一步勘查，以寻求更多的证据。

作者曾多次到位于亚利桑那州的美国国立基特峰天文台，在那里进行天文观测。在基特峰的附近，便是印第安人的保留区。大多数印第安人依然生活在贫困之中，文化和教育都十分落后。他们的确喜欢在岩石上作画，作者也曾看到过多幅。有人说，当年殖民者对他们大开杀戒，他们只好用岩石去宣泄。

硬要往自己脸上贴金

不尊重科学的人到头来总要受到嘲弄。1974年，一位苏联学者发表一篇题

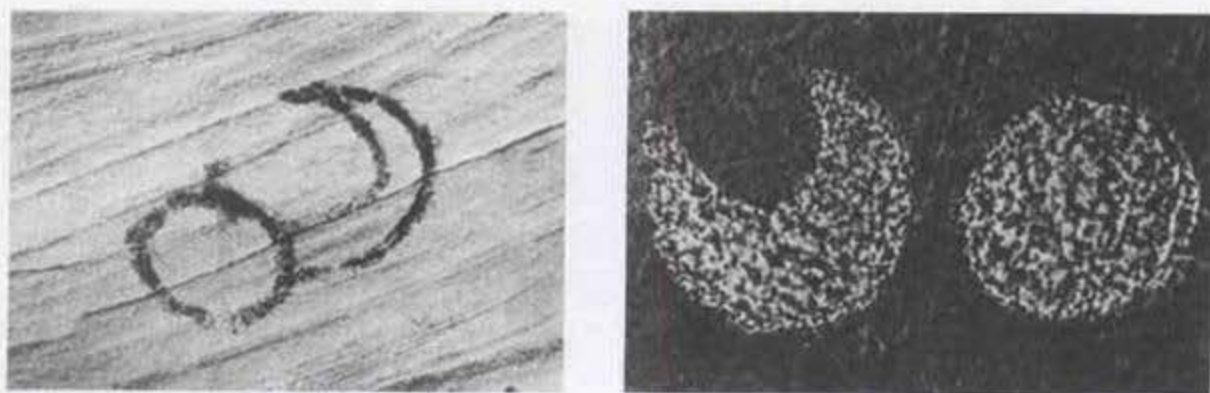


图9.7 印第安人的两幅古画。左——发现于纳瓦哈卡努的一面墙上 右——发现于白马塞的一个洞穴里

为“1054年金牛座超新星在亚美尼亚的最早观测”的文章。文章的目的是要表明苏联人也曾对1054超新星做过“最早的观测”。这篇文章的作者引用的史料是“帕特米编年史的第四条资料”，该资料的日期写明是1048年5月13日，因为这样就和罗马教皇列夫九世统治的年代（1048~1054）相一致，这真是风马牛不相及的逻辑。作者说“在这一年月亮视面上出现一颗星，当时是5月14日朔的前半夜”，这颗星就是1054超新星，而日期又是5月14日的前半夜，因而就成了世界上“最早的观测”了。

该作者为了达到“最早观测”的目的，不仅随意更改日期，而且说成在月亮视面上看到了星，月亮是离我们最近的天体，只有月掩星，哪有星掩月的道理呢？至于“5月14日朔”的说法，也完全是信口开河，“朔”是指月亮走到地球和太阳之间的位置上。根据计算，这次朔的时间应该是在5月10日。而且，在5月14日前后，月亮的黄经大约是120度，超新星的黄经大约是70度，两者相差50度，根本就不可能相合在一起。

那位作者为了说明他的考证是可信的，还列举三条旁证理由：

一、在纬度 $37^{\circ}.9$ 的土库曼，作者毫无困难地用肉眼观测到了1948年6月21日的金星，当时它离太阳的角距只有 $4^{\circ}.5$ ，因而比它更亮的月亮和金牛座超新星在北纬40度的亚美尼亚也完全能够观测到。该作者能看到太阳近旁的金星，可称眼力不错，但能否看到超新星现象，并不取决于眼力，而主要是日期和位置的问题。

二、那位作者举出印第安人的两幅画作为旁证。前面我们已经分析，第一幅画的现象根本不会出现，第二幅画的现象如果出现，也应该是在7月5日左右，与作者的“最早观测”日期5月13日相差将近2个月。

三、作者说“在中国，超新星白天可见23日。因此，金牛座超新星的出现时间应该不晚于1054年5月中旬”。我国记载中清清楚楚地说明最早看到的日期是7月4日，哪里跑出“5月中旬”。像这样不顾起码科学事实的文章居然还登在了前苏联科学院的通报上，真是硬要往自己的脸上贴金。

至于谈到欧洲，那时正处于宗教黑暗时代，不允许人们随便观测天象和记录天象。因此，在所有欧洲的史书上，找不到有关1054超新星的任何记载。

如果这是真的……

关于天关客星曾传出一条令人惊喜的好消息。

苏州有一幅现存最古老的根据实测绘制的全天石刻星图（图 9.8）。它的观测和绘制年代在北宋元丰年间（1078~1085），刻制年代在南宋 1247 年。

当天文学家们到现场仔细观察苏州石刻星图时，居然发现在天关星的西北方向有一个圆形的小坑。我们上面已经提到，苏州石刻星图是南宋时代刻制的，这个圆坑代表的可能就是北宋人看到的天关客星。如果这是真的，不仅有关天关客星的方向问题迎刃而解，而且它再一次生动地显示出中华民族不愧是世界民族之林中最勤劳、最智慧的民族之一。

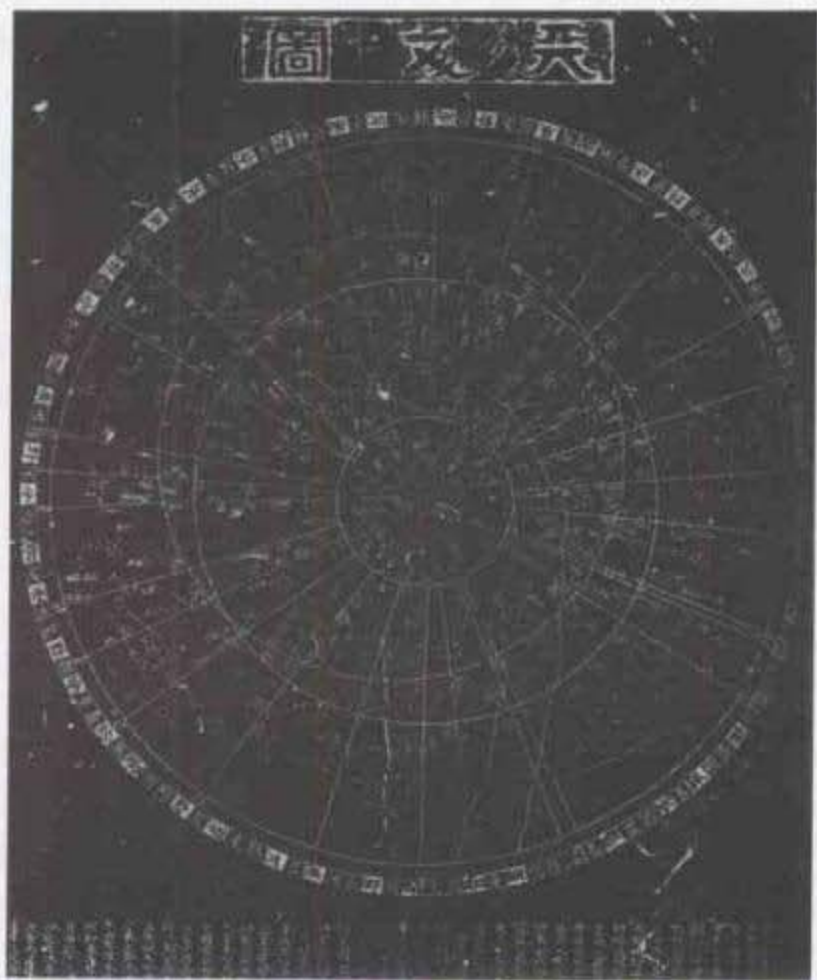


图 9.8 苏州石刻星图

10 再获一次诺贝尔奖

在诺贝尔奖历史上，有一个人获奖两次的，像居里夫人。但是，从来没有一种物质或一种星体能得两次，而且，还有得第三次的可能。

爱因斯坦也离不开天文

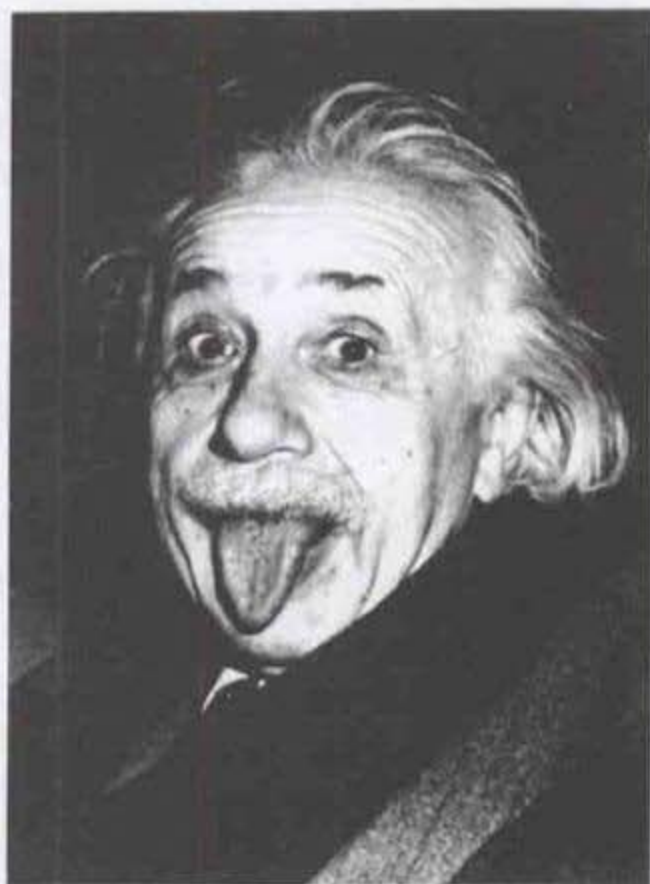
科学的发展有时就像小孩捉迷藏一样，时隐时现。牛顿的力学三定律和万有引力定律是如此之完美，从天上到地下，它可以解释一切。在牛顿看来，唯一不能解释的只有太阳系当初为什么会动起来。他百思不得其解，只好让上帝在开始的时候推它一把。英国著名诗人亚历山大·波普曾写出下面的诗句来赞美牛顿：

自然界和自然界的规律隐藏在黑暗中
上帝说：“让牛顿去吧”
于是一切成为光明。

上帝也没有想到，牛顿带来的光明也只能维持在有限的时空中。给宇宙带来光明的是爱因斯坦。

据说，孩提时代的爱因斯坦并不那么聪慧，中学毕业后考入瑞士苏黎士高等工业大学的教育系学习。进入大学之后的爱因斯坦开始展现才华，遍读了当时的物理和数学名著，为他以后的科学研究打下了坚实的基础。

图 10.1 天真的爱因斯坦



从 1902 年起，大学毕业的爱因斯坦好不容易找到了一份工作，在伯尔尼的发明专利局当了一名最低等的三级职员。但就是这项工作，激发了他的智慧神灵。由于是专利局，接触的都是各种的专利申请和有关对最新科技的探讨。爱因斯坦从中受到了激发，在短短的几年中，连续发表具有开拓性的论文。到了 1905 年，一年中他发表了四篇论文，每篇论文都达到了诺贝尔奖的水平。其中的《论运动媒质的电动力学》提出了相对论的重要概念，后来便成为狭义相对论。

关于光电效应的论文，后来被授予了诺贝尔奖。关于质能关系的论文，提出了著名的质量和能量间的转换关系，即 $E=mc^2$ ，我们在前面已经论述过。他的另一篇论文讨论布朗运动，间接证明了分子的存在。这一年，爱因斯坦只有 26 岁。他的论文虽然有的放矢，但都是出自自己的杜撰，既没有引用他人的工作，又没有高深的数学作陪衬。在当时，能理解其论文内容和懂得其价值的人是很少的。

到了1915年，爱因斯坦不满足狭义相对论的局限性，又大胆地提出了广义相对论。广义相对论告诉大家的是光线不再走直线，时空必须弯曲。连狭义相对论都难以接受的人们，更被爱因斯坦带进了雾水一潭。于是，那位曾经歌颂过牛顿的诗人亚历山大·波普，在歌颂完牛顿的诗句后面，是这样“歌颂”爱因斯坦的：

但不久，
魔鬼说：“让爱因斯坦去吧！”
于是一切又重新回到黑暗中

的确，爱因斯坦最伟大的贡献——狭义相对论和广义相对论，并没有给爱因斯坦带来任何光明。爱因斯坦是因光电效应获得了诺贝尔奖。当科学家们争论是否应该给相对论颁奖时，爱因斯坦本人又陷入了统一场论的困境。为此他几乎耗尽了晚年的全部精力，但一直无法突破。结果，20世纪最伟大的物理学说未能染指诺贝尔奖，而成为物理学史上无法弥补的憾事。

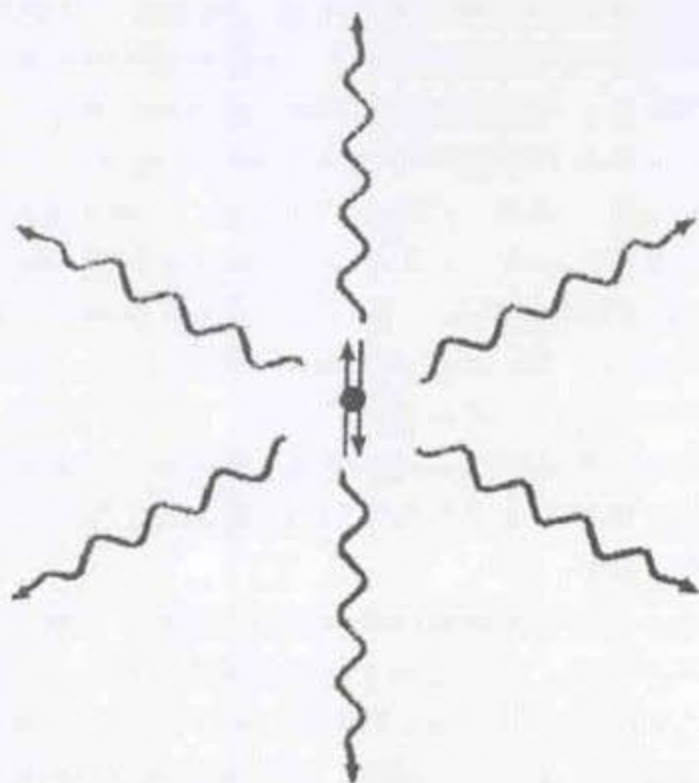
广义相对论的确是太深奥了，在地球上是无法验证的。全部有关广义相对论的验证都是来自天上。其中，我们讨论的脉冲星又一次大出风头，它用“引力辐射”为广义相对论争得了第一块奖牌。爱老先生在九泉之下也一定感到欣慰了。

什么是引力辐射

到目前为止，人类只知道四种相互作用，即引力相互作用，电磁相互作用，强相互作用和弱相互作用。后两种相互作用体现在原子核内部和基本粒子之间，和人们的活动规律关系不大。引力相互作用和电磁相互作用则无处不在，人人都可以感受到。

电磁相互作用是通过电磁波实现的。在当今地球上，到处都充满着电磁波。为了便于理解我们关心的引力辐射，让我们先看一种最简单的电磁辐射情形（图10.2）：一个带电的小球，悬挂在空中，让它来回摆动，便可以产生电磁辐射，向四周辐射电磁波。电磁波以光的速度向外传播，只要带电的小球不停地运动，电磁辐射就不会终止。电磁波是携带着能量的，在辐射的过程中，能量会不断地流失。其能量来自哪里呢？来自小球的运动，由动能变成了电磁

图 10.2 带电小球的振动引
起电磁辐射



能。小球不动了，电磁辐射也就终止了。好比把一块石头抛进平静的水池，四周会荡起水波。只要你不不停地抛石头，水波就不会消失。

引力相互作用原本是最简单的。只要有一个物体，它就会产生引力，而且将引力作用在周围所有的物体上，从不加以区分和挑剔。这也是为什么叫做万有引力定律的原因。它的表达形式也非常简单，

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

式中的 G 叫做万有引力常数。引力 F 的大小正比于两个物体的质量 m_1 和 m_2 ，反比于距离 R 的平方。面对如此完美，而且被各种实验都证实的定律，凡人是不敢怀疑的。虽然，早就有人质疑，两个物体之间究竟是通过什么媒介相互作用，一个物体作用到另一个物体需要多长时间？……牛顿说，这是超距作用，生而有之，既不要媒介，也不要时间。别人都不敢去怀疑大师，只有爱因斯坦的回答是不。

爱因斯坦的引力和牛顿的引力有着截然不同的概念。爱因斯坦认为，引力是和时空联系在一起的，在有物质的时空中，时空是弯曲的。有一位和事佬想

调和爱因斯坦和牛顿之间的矛盾，他提出，只要没有引力，时空仍然是平直的。爱因斯坦的回答仍然是不，不存在没有引力的时空。

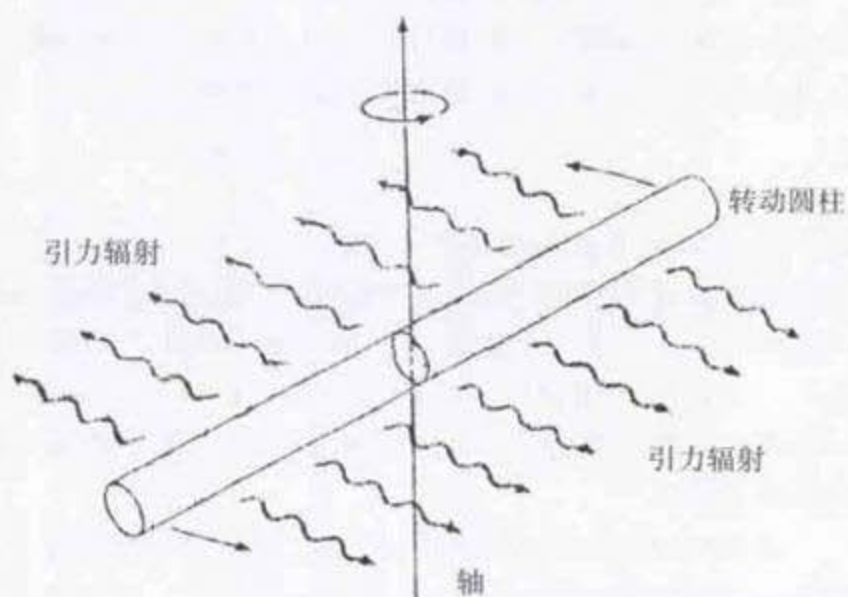
看起来，爱因斯坦和牛顿是无法和平共处了。事实上也并非如此，他们之间的差异只有在极强引力和极高速度的物理条件下才能表现出来。举例说来，当速度接近光速时，区别会十分显著。在通常情况下，或者说在地球上，这种差别是看不出来的，完全可以用牛顿去替代爱因斯坦。

在爱因斯坦看来，引力不仅和时空联系在一起，而且是一种辐射，这就是引力辐射。和上面讨论的电磁辐射相比对，我们再看一个引力辐射的实验（图 10.3），悬挂一根金属棒，半径 1 米，长 20 米，重 490 吨，让它以 4.5 圈/秒的速度在那里旋转，这根棒便不停地向四周辐射引力。其引力辐射的强度有多大呢？要想产生 1 瓦功率的引力辐射能，需要有 10^{30} 根同样的金属棒在那里一块儿转动！

看来要产生能够被探测到的引力辐射，实在是太困难了。但是，引力辐射不管多么微弱，它在空间中却是无处不在的。引力辐射在空间的传播叫做引力波。人们把探测引力辐射的努力对准了天空，也就是寻找来自天体的引力波。

当引力波在空中穿越时，会引起空间的几何形变，如果能够把这种形变测量出来，便验证了引力波的存在，这样的实验装置叫做引力波探测器。根据爱因斯坦的理论，物体之间的引力作用都应该通过引力波实现，引力波的传播速

图 10.3 一根圆柱悬在空中旋转，便会产生引力辐射，只不过引力波的强度非常微弱



度应该和光速一样。但是，引力波和光波的最大区别，是引力波的穿透本领非常之强，几乎没有遮挡，即使对地球而言，也是一穿而过。它的另一个特点是极其微弱，在四种相互作用中，引力相互作用是最弱的。1个质子和1个电子之间的引力只有它们之间电相互作用力的 10^{-40} ，也就是 10^{40} 分之一。在如此艰巨的任务面前，一位叫韦伯的物理学家从上个世纪60年代便开始了他的探险实验。

显然，在地面上探测引力波，最大的引力源莫过于地球本身。但地球能提供的引力波，数值太小，根本无法探测到。韦伯把注意力集中到了天上，大质量的天体及其剧烈的运动，如超新星爆发，黑洞吸积，会产生强烈的引力波。根据理论猜测，引力波的频率不应该超过100赫兹。于是，韦伯设计了一组巨大的铝棒天线，每根重量达到5吨，其共振频率在1000赫兹以下。他首先将这组天线对准银河系的中心，根据他的推算，只要有相当于500个太阳的引力波辐射源，他的仪器便可以探测到。经过几年的努力，韦伯宣布探测到了来自宇宙的引力波。韦伯的实验轰动了世界，许多国家的科学家都动了起来，一时间，掀起了全球的引力波探测热。我们国家也不例外，投入了大量的人力和物力。令人遗憾的是，世界上所有的实验室，没有一家能够重复韦伯的实验结果。

为了追求探测的灵敏度，新一代的探测器不断问世。最有代表性的是一种巨大的激光干涉仪设备，重达几吨。为了减少周围环境的影响，必须把设备埋在地下，而且置于超低温状态下，接近绝对温度的零度。虽然花费了这么大的力气，到目前为止，仍然没有一例被肯定的结果。据估计，达到需要的探测灵敏度还需要至少十年以上。

脉冲双星——又一次诺贝尔奖

正当物理学家们陷入困境时，又是天文学家们出了一把风头。1968年，当发现脉冲星时，泰勒正在哈佛大学攻读博士研究生。刻苦学习的泰勒有一句名言：“有可能产生重大意义的研究，再困难也得试一试。”正是在这种精神的指导下，泰勒和他的同事们设计了一项巡天观测计划，目标是寻找短周期和远距离的脉冲星，利用我们前面提到的阿尔西巴305米的射电望远镜进行观测。为了达到预期的目标，提高观测的灵敏度，必须对望远镜的接收机进行改进，而且还要使用大型的计算机去分析数据，即使借助大型计算机，这项计划的观

测工作量也是大得惊人。

科学发现的故事往往带有惊人的重复性，泰勒也遇到了一位勤奋的研究生赫尔斯。赫尔斯以极大的热情去执行泰勒的巡天计划，并以此作为他的博士论文。他们巡天的天区有 140 平方度，这个天区以前曾有人观测过，共发现了 10 颗脉冲星。在投入巡天观测以后，泰勒和他的研究生很快就发现了 40 颗新的脉冲星，这在当时总共只有 100 多颗脉冲星的情况下，无疑是巨大的成就。判断是新的脉冲星，必须精确地测量脉动周期。为了寻找短周期的脉冲星，对精度的要求更高，而且需要重复测量。

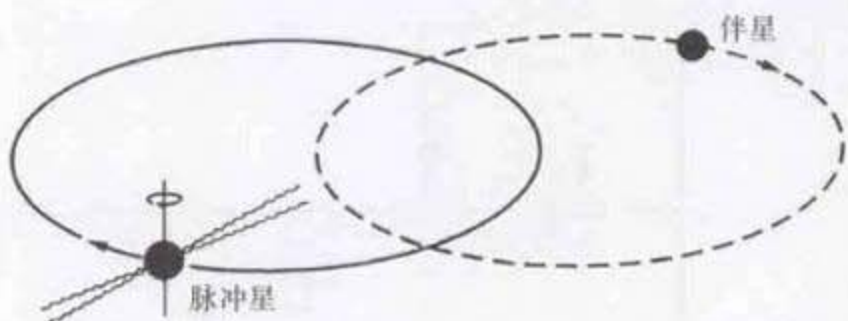
赫尔斯的勤奋精神一点也不逊色于当年的乔丝琳·贝尔。他在分析这 40 颗新脉冲星时，发现了一颗“怪异者”——PSP 1913+16。这颗脉冲星的周期只有 0.059 秒，也就是 59 毫秒。1974 年 8 月 25 日，他惊奇地发现这颗脉冲星的周期在发生变化，在时隔不到两天的时间里，周期差居然达到 2.7 毫秒。这种现象在以往的脉冲星里从未发现过。赫尔斯继续认真地核对他的观测，发现不但没有改进，而且“误差”更大。为此，他怀疑是不是望远镜的接收机有问题，于是将收集讯号的时间精度由 10 毫秒提高到 1 毫秒，重新进行观测。

反复观测表明，这颗脉冲星的周期不但总是有“误差”，而且误差还呈现有规律的变化。赫尔斯终于意识到，这可能是一对双星，由于脉冲星 PSR 1913+16 参与了轨道运动，我们观测到它的周期会发生变化。根据多普勒效应，当脉冲星在轨道上的运动远离观测者时，它的脉动周期会拉长。反之，如果朝向观测者运动，它的周期会缩短。也就是说，脉冲星的周期误差应该呈现周期性的变化。为此，他又对它进行了两个星期的观测，画出了它的周期变化规律，不仅证实了它是一对双星，而且求出了双星的绕转周期大约是 8 小时。直到此时，赫尔斯才将结果报告给导师泰勒。

泰勒和赫尔斯反复分析和计算，得出了双星系统的轨道参数。更为重要的是，这个双星系统是由 2 颗中子星组成的。这时，在他们的脑海里酝酿着一个更宏伟的计划，验证爱因斯坦的广义相对论，特别是引力辐射理论。

双星系统为什么能验证广义相对论呢？广义相对论提出的当年，除了光线弯曲的验证以外，还有一个重要的验证，是水星近日点进动。在太阳系中，水星离太阳最近，所受引力最强。它的轨道在空间的位置会不断地整体移动，称之为进动。根据广义相对论的计算，其轨道近日点的反常进动大约是每百年 43 角秒。观测结果，果然如此，于是被冠之以广义相对论的三大验证之一。再比

图 10.4 PSR 1913+16 是由 2 颗中子星组成的双星系统，它们围绕着共同的质心作轨道运动



较一下 PSR 1913+16，它的轨道的反常进动达到每年 4.226 度，是水星的 3.5 万倍。仅此一项，就说明了双脉冲星系统的重要性。在包括有脉冲星的双星系统中，大多数一颗是脉冲星，另一颗是白矮星。完全由脉冲星组成的双星对到目前为止仅发现了 5 对。

当泰勒和赫尔斯意识到脉冲双星的重要性之后，便毫不犹豫地进行了更加深入细致的观测。一方面是提高观测的灵敏度，另一方面是持之以恒地不间断观测。只有这样，才有可能显示出引力辐射的效应来。

当有引力辐射存在时，系统的能量会减少。因此，系统的运动周期会发生变化。对于一般的双星系统来说，这种变化是不可能被察觉的。但对于脉冲双星来说，它有 3 个有利的条件：第一，每一个脉冲星都干干净净，没有延伸的大气，系统之间也没有物质交换，这样，就不会有影响周期变化的其他因素；第二，相互绕转周期很短，只有几个小时，微小的变化较容易测出；第三，脉冲星本身提供了精确的时间讯号。这三者是缺一不可的。

目标明确以后，泰勒和赫尔斯就开始了持之以恒的观测。从 1974 年开始，一直持续了 20 年。终于，在 1993 年他们获得了诺贝尔奖。获奖的理由是验证了广义相对论预言的引力辐射。图 10.5 是 20 年间 PSR 1913+16 的轨道周期变化的观测结果。可以看出，观测值和理论曲线符合得非常好。理论给出的周期变率是

$$\dot{P} = 2.60 \times 10^{-12}$$

上式的单位是秒/秒，即每秒的变率。观测结果和理论预期值符合得很好。

图 10.5 纵坐标标出的是近星点进动。所谓近星点是指绕转轨道中靠近另一个子星的一点，近星点的进动实际上就是轨道的进动，它影响到周期的变化。

泰勒和赫尔斯所取得的成绩，除了他们的不懈努力之外，也有一部分运气。虽然已经发现了很多双星系统，但真正能用来验证引力辐射的只有两对，

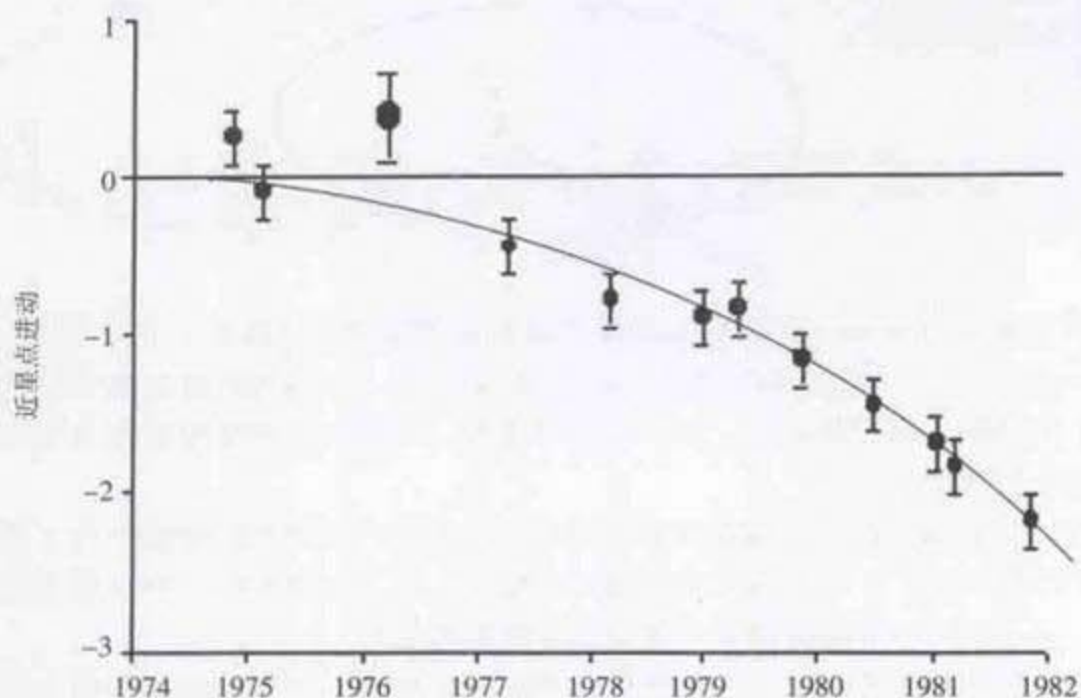


图 10.5 引力辐射效应对脉冲双星 PSR 1913+16 的轨道周期影响。各点是实测值，与理论曲线完全符合

除了 PSR 1913+16 之外，就是 1991 年发现的 PSR 1534+12。而最理想的就是他们首次就碰上的第一对。

机会只会惠顾有准备的人，只有勤奋者才有更多的机会碰上好运气。

毫秒脉冲星——还有诺贝尔奖的希望

在讨论我们的主人公——蟹状星云脉冲星时，曾提到过毫秒脉冲星，也就是说，它们的脉动周期是毫秒量级的。由于脉冲星的周期代表了它们的年龄，周期越短的越年轻。随着年龄的增长，周期在不断地拉长。由于脉冲星的核能已经基本耗尽，所有的能量来源只有靠自转的动能，一旦自转终止，脉冲星也就正寝了。这些概念一般说来都是正确的。天文学家们也正是按着这种思路在寻找更年轻的脉冲星——毫秒脉冲星。

脉冲星自 1967 年发现之后，天文学家们就有意寻找更短周期的脉冲星。但 15 年间，只发现了 3 颗。除了我们的主人公之外，还有船帆座脉冲星，著

名的 Vela PSR 0833-45, 以及一颗射电脉冲星。Vela 脉冲星的周期是 89 毫秒, 比蟹状星云的 33 毫秒更长一些。在 Vela 处, 同样发现了超新星遗迹, 说明它也是由不久前爆发的超新星形成的。只可惜 Vela 脉冲星处在南半天, 只有在南半球才能看到, 没有古代天文学家在那里观测, 所以无从考证超新星爆发的确切时间。在这些短周期脉冲星的启发下, 天文学家们把仪器的灵敏度一再提高, 一直提高到 4 毫秒。没想到, 毫秒脉冲星又给天文学家们开了一次玩笑, 让天文学家们扑了个空, 按常规思维的有关推论又错了。

脉冲星的发现者休伊什在 1983 年访华时, 曾经遗憾地谈到: “我们已将射电望远镜接收系统调到对几毫秒的周期讯号都敏感的状态, 离成功只有一步之遥的时候却罢手不干了。”事实上, 休伊什已经把测量精度调到了 4 毫秒, 但仍然错过了机会, 把煮熟的鸭子弄飞了。

当时, 搞脉冲星的天文学家都意识到, 在射电源 4C 21.53 的附近有一个特殊的射电源, 其坐标为 1937+214。其射电讯号表明, 它很像是一颗脉冲星, 而且周期会很短。当休伊什把灵敏度调到 4 毫秒之后, 再也没有继续往下调, 结果把机会让给了美国天文学家贝克。贝克坚信它应该是一颗脉冲星, 于是把仪器的灵敏度一再提高, 当调到 0.5 毫秒时, 果然发现了它的脉动周期, 原来它的周期只有 1.588 毫秒。脉动周期就是中子星自转一周的时间。1 秒是 1000 毫秒, 读者不难算出, 这颗中子星每秒钟要转 600 多圈, 宇宙中再也找不到比它转得更快的天体了。不要说那么大的一个天体, 就是训练任何一种动物, 让它每秒钟旋转几百圈都是不可思议的。

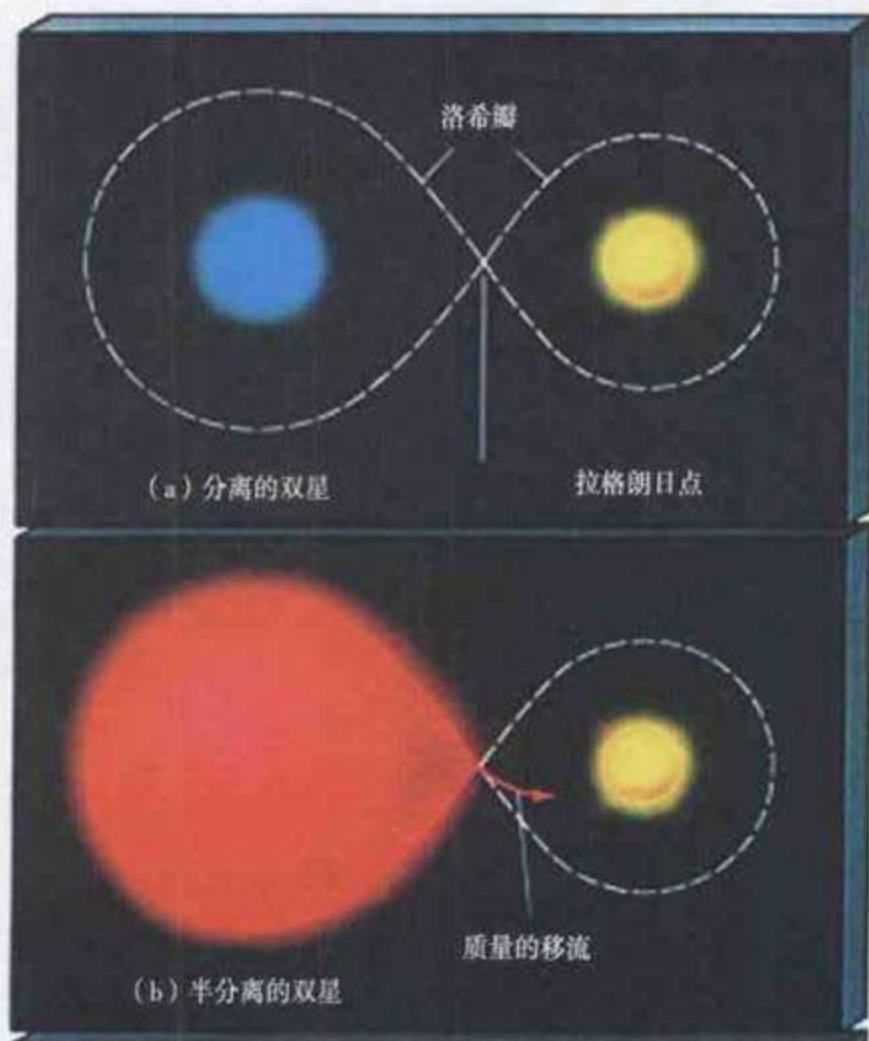
休伊什之所以错过机会, 不全是休伊什的错误, 而是由于毫秒脉冲星完全是一类新型的脉冲星, 它的周期和周期的变化与通常的理解截然不同。以 PSR 1937+214 为例, 其周期比蟹状星云短 20 倍, 但其年龄却大得多, 高达 4×10^8 年, 而蟹状星云却只有 1 千年不到。即使和一般的脉冲星相比, 它的年龄也高出了 100 倍之多。显然, 毫秒脉冲星属于另类的一种。

为什么毫秒脉冲星的周期如此之短, 而年龄又如此之老呢? 首先, 它不可能是由新爆发的超新星产生的。因为按新爆发的超新星去推算, 它们的年龄都应该是几千年的量级。天文学家们只能另找门路, 他们从 X 射线脉冲星中得到了启发。脉冲星发现不久, 便发现有的脉冲星同时发射 X 射线脉冲, 包括我们的明珠在内。但真正的奇迹是出现在 X 射线的脉冲双星中, 对于 X 射线脉冲双星, 往往一颗是中子星, 另一颗是其他类型的致密星。在测量中子星的脉冲周

期时，人们惊奇地发现，它的周期不是在逐步拉长，而是越变越短。也就是说，随着年龄的增长，这类脉冲星的周期反而在减小。会不会正是这类脉冲星演化成毫秒脉冲星的呢？

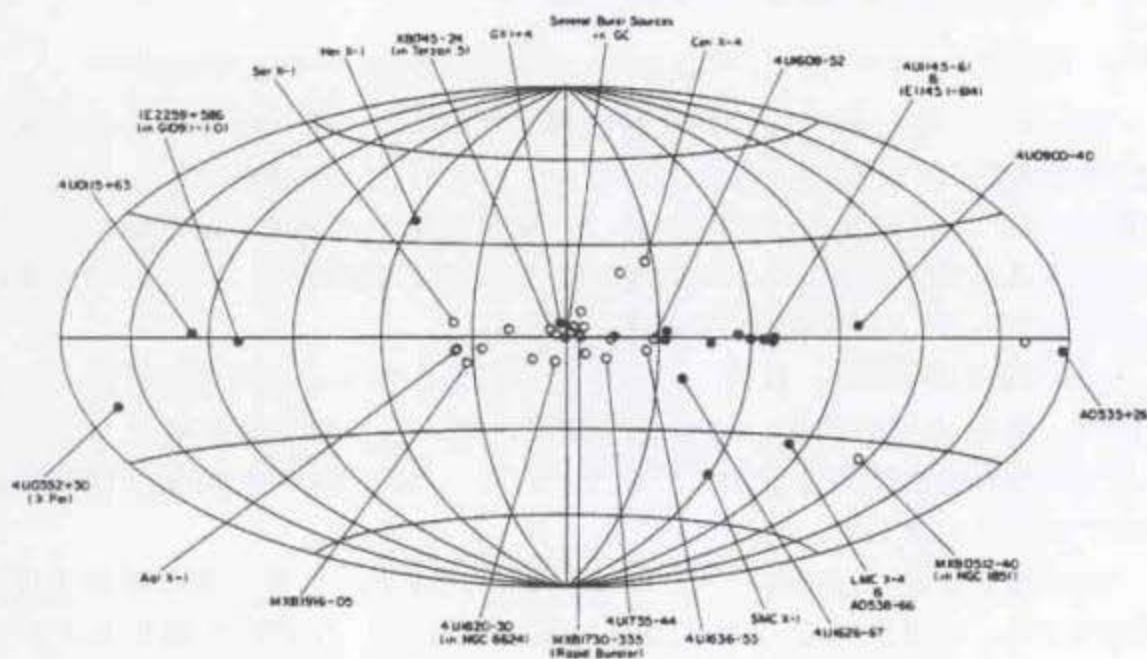
辐射 X 射线，必须有高温区。双星系统是如何形成高温区的呢？原来，双星系统就像人间的夫妻，有的疏远，有的密切。密切的双星，称为密近双星。能构成密近双星的标志，是双星之间有物质交流。双星的两颗星彼此互相绕转，每一颗星有自己的引力场，两颗子星又有共同的引力场。19 世纪中叶，法国数学家和天文学家洛希仔细研究了双星的动力学系统，得出双星系统有一个共同的引力圈，后来被称之为洛希瓣。图 10.6 示出了两种类型的双星。上面是一对普通的双星，各自生活在自己的领域里，虽然相互绕转，但彼此间互不

图 10.6 双星及其洛希瓣，图中的 8 字形虚线所画出的范围即洛希瓣。上图是两颗普通的双星，下图左边的已充满洛希瓣，其物质开始流入右边的中子星



往来。下面的一对则不然，一颗星的物质已经充满了自己的洛希瓣，这时，它就可以通过共同的交叉点，将自己的物质流向对方。这样的双星便成了密近双星，因为它们之间已经有物质交流了。当然，双星之间还可以更密切，当另一颗星的物质也充满了自己的洛希瓣时，它的物质便也可以通过交叉点流向对方。这就是更密切的密近双星了。这样的密近双星，甚至还可以形成一层共同的大气，将双方的洛希瓣都包起来，筑造成一座热巢。可以看出，洛希瓣在双星的研究中是多么的重要，它们之间的交叉点后来又用另外一位法国数学家冠名，称为拉格朗日点。

回到我们的 X 射线脉冲星。如果在上述密近双星中，右边一颗是中子星，左边一颗是极富有的巨星，它就会通过拉格朗日点将大量的物质抛向对方。这些物质从高处以接近光速的速度落下来，砸向中子星的南北极区，形成了高达 1 亿度的温度，于是便激发出了 X 射线。与此同时，这些物质还带有大量的角动量，也就是具有旋转特征的物质，落到中子星上，便促使中子星的自转加快。对方不断地提供带有角动量的物质，演化到一定的时间，便形成了毫秒脉冲星。



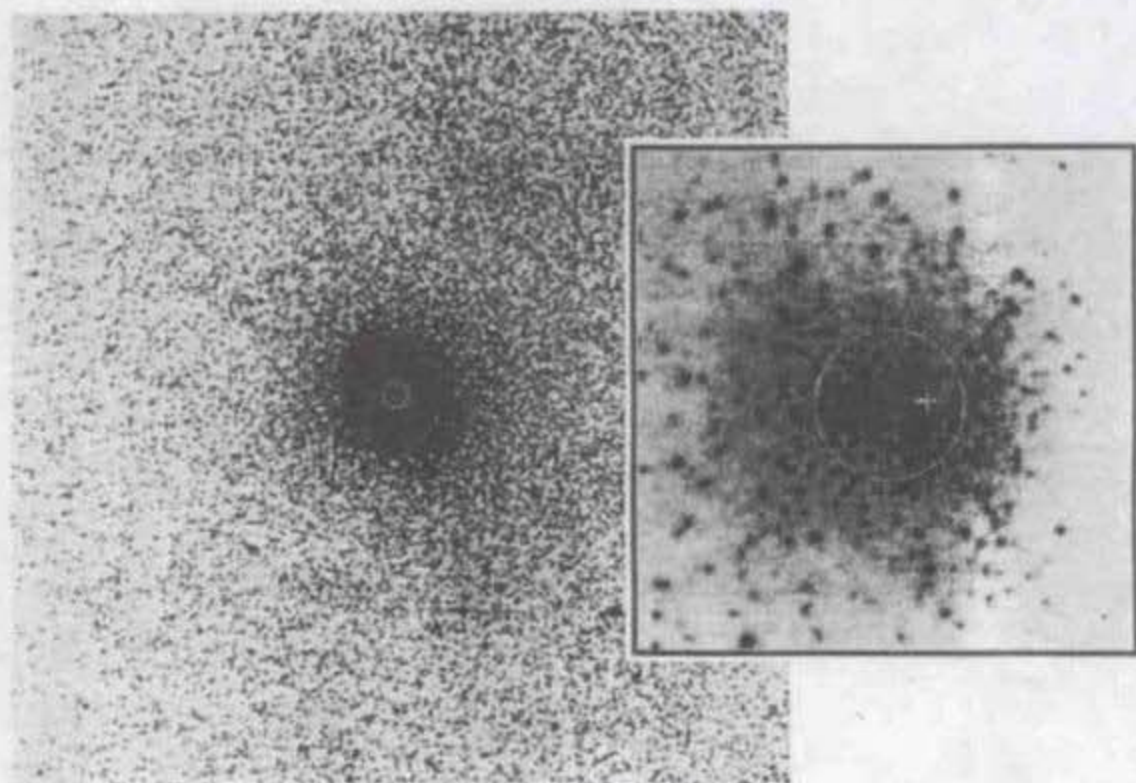


图 10.8 球状星团 M28 中发现的脉冲星 PSRB 1821-24，右图是它的局部放大，十字处是脉冲星的位置

和人间的夫妻一样，过度的浪费会难以维持生计。毫秒脉冲星只有大量的吸食对方的物质，才会不断地发出 X 射线，并且自己也越转越快。一旦对方的物质被吃光，自己的光彩也就不再了，由 X 射线脉冲星变成了射电脉冲星。有的甚至反目成仇，分离开来，从此变成了单星的射电脉冲星，不过仍维持着毫秒脉冲星的转速，只是转速不会再继续加快了。

在 X 射线脉冲星中，还有一种更奢侈的现象，巨星会突然向对方抛丢大量的物质，引发出 X 射线爆。就像是暴发户夫妻一样，故意显露自己。图 10.7 是 X 射线脉冲星在银道坐标图上的分布。其中，圆圈者同时发出 X 射线爆，就是属于暴发户式的夫妻。

毫秒脉冲星被发现以后，天文学家们极力去搜寻，力争发现更多的这种新类型的天体。但是，无论怎样提高望远镜的灵敏度，找到的数量仍然十分有限。几年间只找到了不到 10 颗。后来，脉冲星专家把注意力转到了球状星团，才又柳暗花明。

球状星团是银河系中由大量恒星组成的集团。每一个球状星团包含有成千上万颗恒星，甚至多达几十万颗。在球状星团里，各种类型的恒星都有，大质量的恒星、白矮星、中子星，甚至黑洞。由于球状星团里的天体密集，容易形成X射线双星。因此，在球状星团里产生毫秒脉冲星的机会要多很多。实际观测也证实了天文学家们的猜测。前后在几个球状星团中发现了数十颗毫秒脉冲星。图10.8是在球状星团M28中发现的一颗毫秒脉冲星PSRB 1821-24，它的周期只有3毫秒。细心的读者一看这张图，头都会大起来。密密麻麻有成千上万颗恒星聚集在那里。天文学家从中挑出哪怕一颗星都很困难，更何况是去找脉冲星了。

对毫秒脉冲星的研究表明，这类新型的脉冲星具有重要的天文演化意义。它不仅进一步检验爱因斯坦的广义相对论和引力红移，还可以验证双星系统的演化全过程。其中的许多物理过程，包括X射线辐射和X射线爆，都是难得的天体物理实验室。更为有趣的是，其双星系统中那颗向脉冲星提供物质的伴星，将来有可能演化成一组行星系统，变成由中子星领衔的一个太阳系。这样的系统会不会产生另类的地外文明，我们不得而知。但是，有一点是可以肯定的，其中任何一项研究工作的突破，都意味着又一个诺贝尔奖的诞生。



蟹状星云简史

- 1054 年 中国古代天文学家最早发现天关客星。
- 1731 年 英国医生、天文爱好者拜维斯发现蟹状星云。
- 1758 年 梅西叶将蟹状星云排在他所编的星云表第 1 号，称为 M1。
- 1850 年 罗斯取名“蟹状星云”。
- 1910 年 兰姆兰德首先注意到“束条”结构。
- 1921 年 兰姆兰德和邓肯彼此独立地发现蟹状星云在膨胀。
- 1928 年 哈勃测量出蟹状星云的膨胀速度，由此断定它是中国发现的天关客星的遗迹。
- 1948 年 射电观测发现它是一个强射电源。
- 1953 年 史克洛夫斯基提出蟹状星云的射电辐射机制是同步加速辐射，很快被光学偏振观测所证实。
- 1957 年 射电偏振观测成功。
- 1963 年 发现蟹状星云是一个 X 射线源。
- 1964 年 中心附近发现了一个致密源。
- 1968 年 发现蟹状星云是一个 γ 射线源。
- 1968 年 发现蟹状星云脉冲星 NP0532（统一名称 PSR 0531+21）。
- 1969 年 发现 NP0532 同时是一颗光学脉冲星。

蟹状星云和她的明珠

XIEZHUANGXINGYUN

HE TADE MINGZHU



作者在英国皇家爱丁堡天文台
寻找一种新的天体——类星体

何香涛：1960年毕业于北京师范大学物理系，1980-1982年在英国皇家爱丁堡天文台进修。北京师范大学天文系教授，博士研究生导师，曾任中国天文学会副理事长、北京市天文学会理事长。

主要从事天体物理学领域中有关活动星系及宇宙学的研究工作，主要成果“类星体的观测”获国家教育部科技进步一等奖，“类星体的认证和研究”获国家自然科学基金三等奖。1984年被国家授予有突出贡献的中青年专家。1990年被国家科技部和国家教育部联合授予全国高等学校先进科技工作者。1997年获美国天文学会国际合作观测奖。

责任编辑/吴炜 整体设计/吴新霞

ISBN 7-5357-4242-4



9 787535 742421 >

N·127 定价：38.00 元

面对着神秘的宇宙，

多少人为之付出了毕生的精力

“毕生”有时还显得太短，

最好是几生几世。

这里，

作者给大家介绍的就是一个漫长的天文故事。

故事的主人公经历了将近1千年的历史，

在这漫长的岁月里，

几十代天文学家都为之付出了心血……

